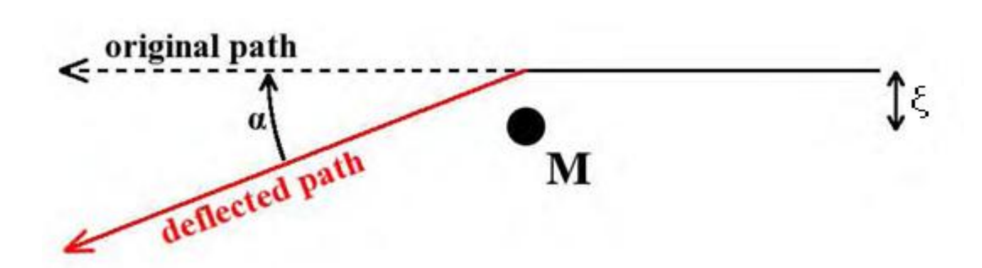
1-1 مقدمة:

التعدس الجذبي هو ظاهرة انحناء الضوء الصادر عن مصدر لدى مروره قــرب كتلــة كبيرة (بالقياسات الفلكية) فتتكون صور لمصدرالضوء، اشكالها ومواقعها تتباين تبعا لمتغيــرات عدة، ففي هذا الفصل سنتطرق إلى هذه الظاهرة بالتفصيل من حيث تاريخ بدايتها ومظاهرهــا وانواعها والارصادات التي أيدتها.

2-1 نظرة تأريخية:

إن جذور النظرية بدأت قبل 300 سنة، من ظهور النظرية النسبية العامة، فــي عمــل اسحق نيوتن في كتابه (Optiks المنشور بين عام 1704 وعام 1720) وحسب فكرة نيوتن عن الضوء أنه يتكون من دقائق لها كتلتها لذا فإنها سوف تنجذب بواسطة قوة الجاذبية وتبعا لــذلك فان الضوء عند مروره بالقرب من جسم ثقيل بالقياسات الفلكية فإنه سوف ينحني مساره كما في الشكل (1,1).



الشكل (1,1) يبين انحناء مسار الضوء عند مروره بالقرب من جسم ثقيل حيــث ان c هــي سرعة الضوء، G هو ثابت الجاذبية العام، ξ هو بعد التأثير (Paraficz, 2010)

إلا أن Soldner في عام 1804 حسب زاوية التعدس استناداً إلى قوانين نيوتن عند مروره بالقرب من نجم من المعادلة الآتية [1.1]

$$\acute{\alpha} = \frac{2MG}{\xi c^2} \qquad \text{-----------------} \; [1.1]$$

(Schmidt,2000)، حيث ان M، G، C، ξ هم على التوالي كتلة النجم،ثابت الجاذبية العام، سرعة الضوء، وبعد التأثير impact parameter .

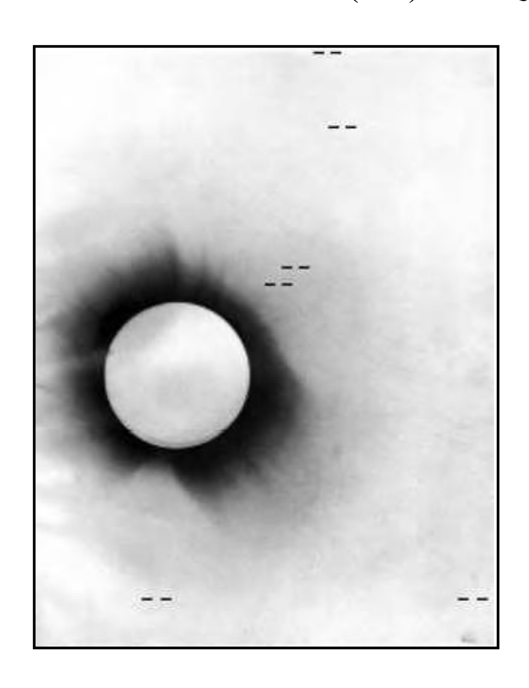
إلا أن الفهم الأشمل والمفهوم الاصلي للعدسات الجذبية أعتمد على عمل آينشتاين عام 1915 عندما تنبأ بقيمة زاوية انحناء الضوء المار قرب كتلة ثقيلة (بالقياسات الفلكية) ووجد أن قيمة زاوية التعدس هي:

$$\acute{\alpha} = \frac{4MG}{\xi c^2} \qquad \text{-----------------} \; [1.2]$$

وهي ضعف قيمتها في المعادلة (1،1) وسبب ذلك أنه حسب النظرية النسبية العامة. الفضاء منحني أيضا فضلاً عن أنحناءات الضوء بسبب جاذبية الكتل [Schmidt,2000] (Paraficz , 2010)

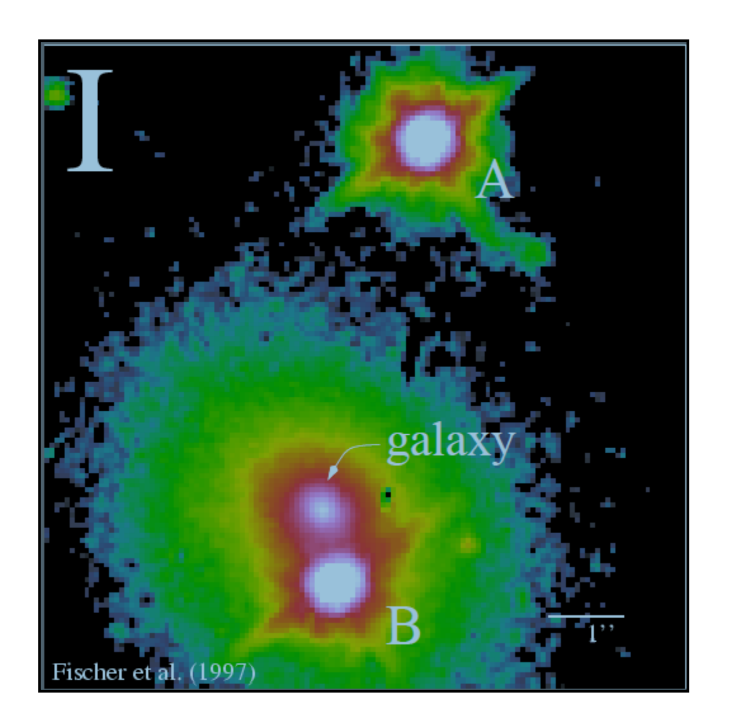
وقد تزايد الاهتمام بهذه الظاهرة في السنوات الاخيرة لما تمخضت عنه من استنتاجات مهمة على الاصعدة النظرية للفيزياء الكونية والفلك لتقديم فهم أعمق للكون، ولاستعراض تأريخ الظاهرة يمكننا تشخيص مرحلتين أساسيتين في دراسة العدسات الجذبية المرحلة الاولى يمكن تحديدها بين انجاز النظرية النسبية عام 1915 وأكتشاف أول عدسة جذبية عام 1979 وهي مرحلة بحث نظري تمت فيها أغلب الحسابات والقوانين التي تصف الظاهرة فقد وافق نتائج الرصد الذي قام به Eddington وجماعته عام 1919عندما قاسوا أثناء كسوف الشمس، قيمة زاوية انحناء شعاع الضوء القادم من النجوم القريبة من الشمس، وقارنوها بالقيمة التي تنبأ بها

آينشتاين حسب النسبية العامة فوجدوها 1.75 arcsec بفارق 25 % عن القيمة الذي حسبها، (Paraficz , 2010) أنظر الشكل (1-2).



الشكل (1-2) يظهر فيه صورة سلبية 29/أيار 1919 لكسوف الشمس مؤشر فيها مواضع النجوم المختبره في الفحص التاريخي لنظرية آينشتاين في الجاذبية (Paraficz , 2010).

وكان هذا الرصد الاول في تاريخ التعدس الجذبي ويُعـــدُّ Zwicky (1937) أول مـــن شخص المجرات كعدسات جذبية (Schmidt,2000)، بينما اشتق كل من Liebes و Refsdel عام 1960 المعادلات الأساسية للتعدس الجذبي عن مصدر نقطي، وفي عام 1979 ظهر دليـــل أوضح لرصد ظاهرة التعدس الجذبي وذلك برصـــد صـــورتين متمـــاثلتين طيفيـــا للكـــوازر 0957+561 من قبل (Walsh etal.,1979) كما في الشكل (1-3).

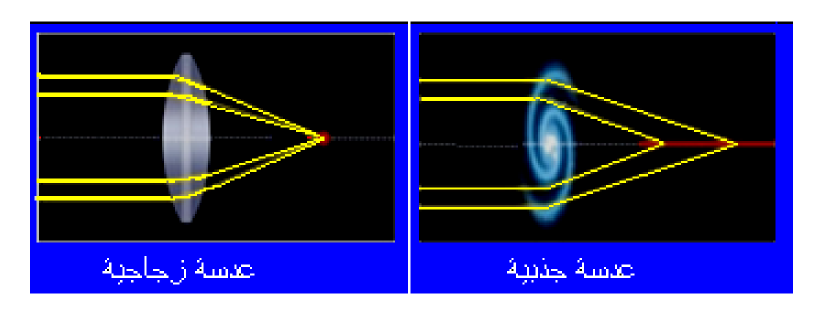


الشكل (3-1) يوضح صور نظام العدسة الجذبية حيث تظهر صورتا الكوازر B وA من خلال المجرة (العدسة الجذبية الكوازر quasar 0957+561 المرصود من تلسكوب هابل الفضائي) (Fischer etal, 1997)

والمرحلة الثانية تمتد من عام 1979 وحتى وقتنا الراهن، الغالب فيها الإهتمام بالرصد الفلكي واكتشاف عدسات جذبية جديدة واستخدام نتائج هذه الارصادات في ايجاد فهم نظري حول توزيع المادة في الكون وبتحديد هاتين المرحلتين أصبح ممكناً توجيه الدراسة في خضم الكم الكبير من البحوث حول الظاهرة ومن تحديد المسار فيها (Myers,S.T.,1999).

3-1 مظهر التعدس الجذبي:

إن ظاهرة تكون الصور بالعدسات الجذبية تشبه لحد ما عملية تكوّن الصور في العدسات الزجاجية كما في الشكل (4-1) (Mukherjee , 2005).



الشكل رقم (1-4) يمثل المقارنة بين العدسات الجذبية والعدسات البصرية

عدا إنها من الممكن أن تنتج صوراً متعددةً لنفس المصدر، كما أن انحناء الضوء في العدسة الجذبية يكون اكبر في المنطقة القريبة من المحور البصري الذي يمر بمركز العدسة وليس للعدسة الجذبية نقطة بؤرية وإذا كانت العدسة والمصدر والراصد على خط واحد تتكون صورة للمصدر على شكل حلقة حول العدسة وإذا كانت العدسة الجذبية مائلة بزاوية عن المحور البصري سوف تظهر للمصدر صور متعددة مشوهة وقد تكون العدسة الجذبية كوكب أو نجم أو مجرة أو عنقود مجرات أو ثقب اسود أو مادة معتمة أو massive astronomical compact halo objects [MACHO] .

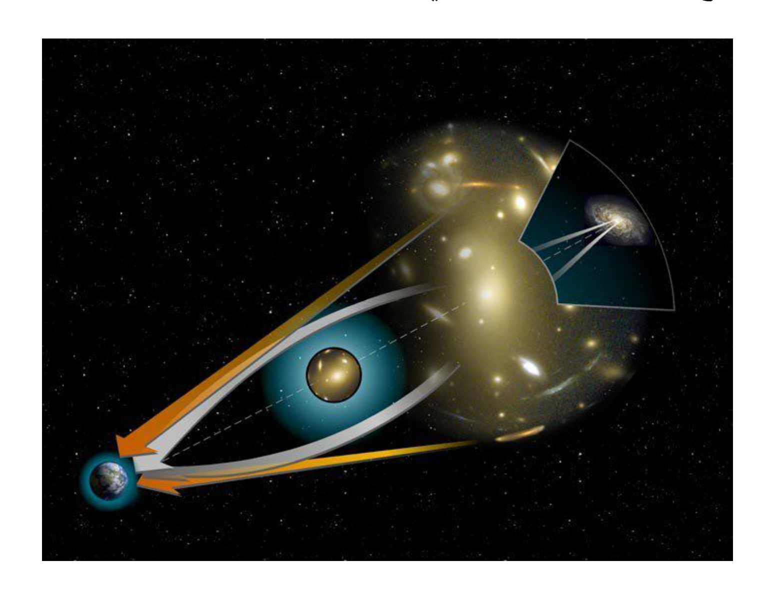
إن من أهم نتائج بحوث الفيزياء في مجال التعدس الجذبي هو الدليل المتنامي بأ ن الطاقة المعتمة والمادة المعتمة مكونان كبيران للكون حيث تمثل الطاقة المعتمة حوالي 0.73 في حين تشكل المادة المعتمة حوالي 0.23 (Riess etal 1998) (Spergel etal 2007).

إن حساب القيمة الدقيقة لكثافة الطاقة المعتمة وكثافة المادة المعتمة هو هدف كبير من أهداف الفيزياء الفلكية الحديثة من خلال دراسة حالات التعدس الجذبي القوي والضعيف والدقيق إذ لكل نوع من أنواع التعدس الجذبي مدى scale فيكون التعدس دقيق حيث تكون العدسة نجماً أو كوكباً object compact، أما في حالتي التعدس الجذبي القوي والضعيف فتكون العدسة إما مجرة أو عنقوداً مجري وكذلك صور المصادر عن العدسات الجذبية متنوعة فهي في التعدس القوي صور متعددة بينما يكون فقط تشويه بسيط في الصورة في التعدس

الضعيف في حين لا يوجد اي تشويه في صور المصدر إذا وجدت حالة تعدس دقيق، سوى اختلاف الشدة الضوئية لصورة المصدر بتعاقب الازمان .

4-1 انواع التعدس الجذبي

إن انحناء الضوء الجذبي يؤثر على خصائص صور المصدر ولكون أن زاوية الانحناء تعتمد على بعد التأثير (impact parameter) لذلك تتغير هذه الزاوية طرديا مع تغير كتلة العدسة الجذبية، ولقد بينت الارصادات الفلكية وجود أشكال مختلفة من العدسات الجذبية مما دعا الباحثين إلى تصنيف وتقسيم العدسات الجذبية لغرض الإفادة من خصائصها، وقد صنفت العدسات الجذبية بحسب زاوية التعدس وكذلك حسب أعداد وأشكال الصور الناتجة عنها. والشكل (1-5) يوضح ظاهرة التعدس الجذبي باشكالها المتعددة.

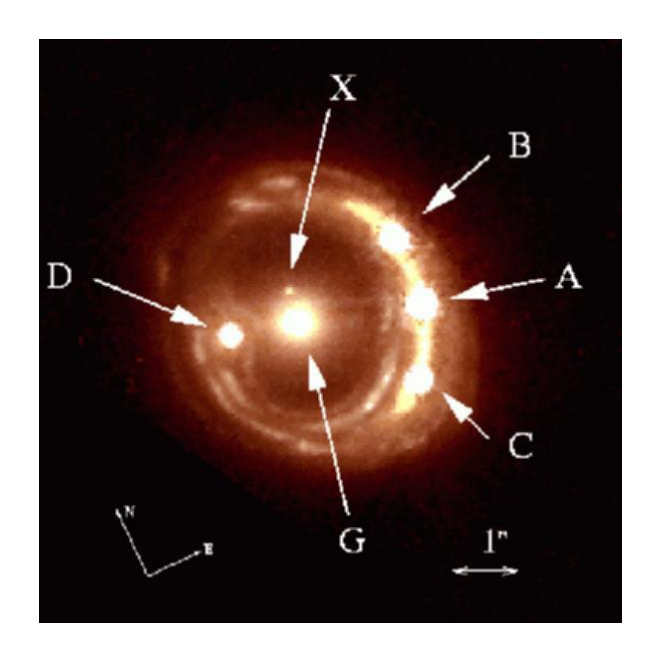


الشكل (1-5) يوضح ظاهرة التعدس الجذبي، حيث إن وجود مجرة أو مجموعة مجرات بين الأرض في يسار الصورة و الكوازارفي يمين الصورة يؤدي إلى انحناء الضوء حول المجرة في المنتصف من مختلف الاتجاهات و بالتالي نرى صوراً مختلفة ومشوهة على شكل اقواس للجرم نفسه.

5-1 تصنيف العدسات الجذبية بحسب زاوية التعدس :

1-5-1 التعدس الجذبي القوي [strong gravitational lensing]

إن فكرة التعدس الجذبي القوي أتت من (1937) Zwicky حيث أشار إلى ان المجرات الكونية ثقيلة بشكل كافٍ لتحني الضوء القادم من مصادر خلفية ذات شدة ضوئية عالية وتظهـر صورا متعددة، غير أن المصمم الأكثر شهرة فـي مجـال التعـدس الجـذبي القـوي هـو Sjur Refsdal الـذي نشـر بحوثـاً نظريـة جـديرة بالملاحظـة مناقشـاً جميـع أنواع مظاهر التعدس الجذبي القوي، ففي عام 1964 أشار بـأَن الصـورالمتعددة للكـوازرات (images of strongly lensed quasars) يمكن بواسطتها حساب كتلـة المنطقـة الداخليـة للمجرة، كما يمكن استعمالها في تحديد ثابت هابل، لقد كان Refsdal واحداً من الأوائل الـذين بحثوا ظاهرة زمن التأخير القائمة على حقيقة أن أزمـان الانتقـال (travel times) لصـور المصدر ليست متساوية، فإذا كان المصدر له تغيرات حقيقية عند ذلك يمكـن ملاحظـة هـذه التغيرات خلال ازمان مختلفة في صور المصدر، اليوم نجد في متناول أيدي باحثي علم الكـون 200 كوازر ذو صور متعددة والقائمة ما زالت في تزايد (Walsh etal, 1979)، وقد اصبحت ظاهرة التعدس الجذبي القوي واحدةً من الآليات النظرية المهمة في الفيزياء الكونية وعلم الكون وغالبا ما تكون العدسة الجذبية مجـرة أو عنقـود مجـري فباكتشـاف أول كـوازر مرئـي QSO (0957–561) ، بدأ العمل الرصدي للتعدس الجذبي، فالعدسات الجذبيـة التـي يظهـر بوجودهـا صـور مضـاعفة للمصـدر ومكبـرة تسـمى بـ(العدسات الجذبيـة القويـة) (Paraficz, 2010) فقد تكون واحدة من هذه الصور مكبرة وتكون تشوهات صور المصدر في هذا النوع مرئية بسهولة كما في الشكل رقم (1-6).



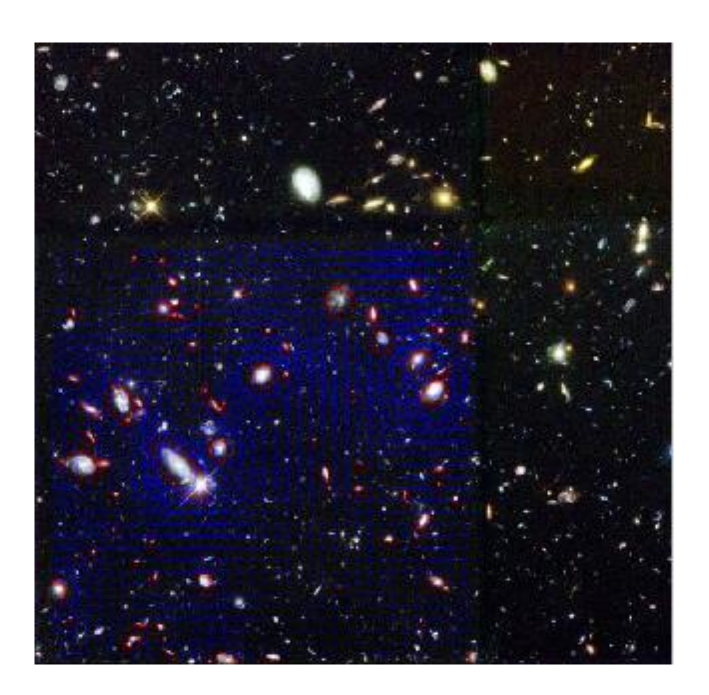
الشكل (1-6) يوضح تشوهات صورة المصـــدر RXS J1131–1231 متمثلـــة بـــالاقواس والتعدد، حيث ان X صورة غير مكبرة للمصدر في حين A,B,C,D,G صور مكبرة ومشوهه لنفس المصدر وهـــذا التنـــوع يعـــزى إلـــى الكثافـــة المتباينـــة لاجـــزاء العدســـة الجذبيـــة (Claeskens et al., 2006)

تحدث ظاهرة التعدس الجذبي القوي عندما يحدث انحناءأ قوياً للضوء (زاوية الانحنـــاء كبيرة) ينتج عنه ظواهر يمكن ملاحظتها بسهولة مثل حلقة آينشتاين والأقواس والصور المتعددة (الصورتان، الاربع صور أو مايدعى بصليب آينشتاين) وشكل الصور عائد إلى درجة أتســـاق لموقع المصدر مع المحور وكذلك إلى الشكل الهندسي للعدسة الجذبية وعادة ما يمكن مشـــاهدة هذه الصور في قلب العنقود المجري إذا كان المصدر مجرةً بعيدة ، وفي المجرات حيث يكـــون المصدر كوازرا بعيداً (Holder etal , 2003).

2-5-1 التعدس الجذبي الضعيف [weak gravitational lensing]

في هذا النوع تكون زاوية التعدس أصغرمما هي عليه في التعدس الجذبي القوي، وغالبا ما تكون العدسة الجذبية هي المادة المعتمة وتحدث تشوهات صغيرة لصـــورة المصـــدر فيـــتم

الكشف عن هذا التعدس بالتحليل الاحصائي لعدد كبير من المصادر (Paraficz, 2010) كما في الشكل رقم (1-7).



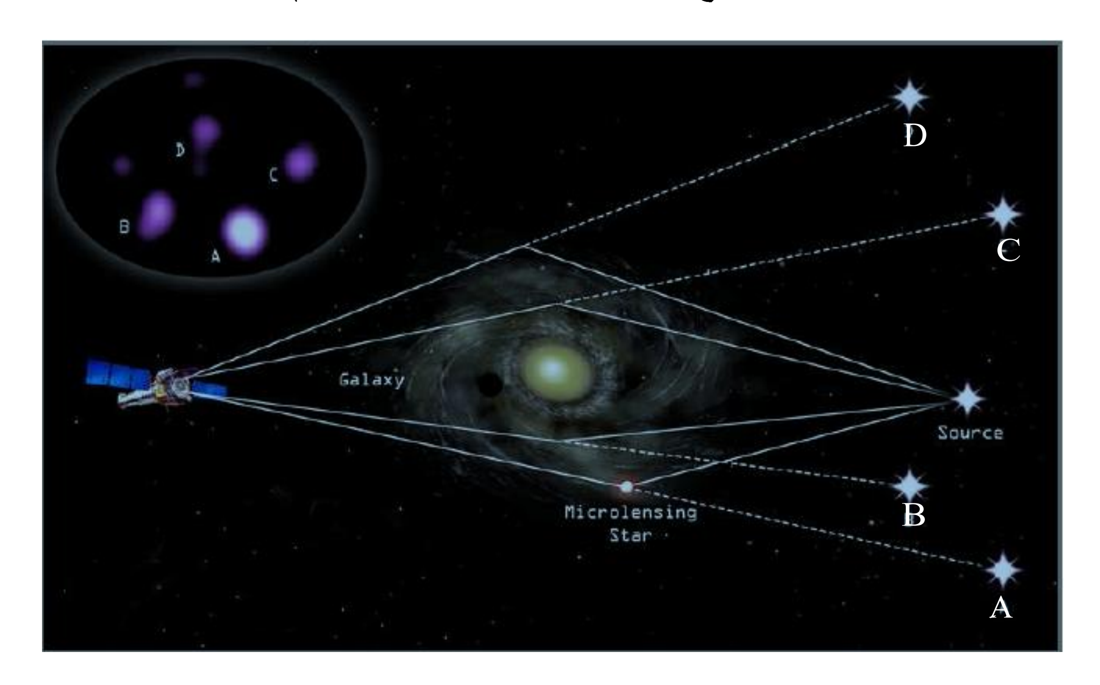
الشكل (1-7) يبين التعدس الجذبي الضعيف حيث يظهر في يسار الصورة، الخطوط الزرقاء الممثلة للتشويه الحاصل بسبب وجود المادة المعتمة والخطوط الحمراء المحددة للاجرام المشوهة صورها.
(Image credit: R. Williams (STScI), the Hubble Deep Field Team and NASA.) (Image credit: Mike Hudson. The link is to his research page.)

إن التعدس الجذبي الضعيف يُعدُّ أداةً واعدةً جداً لتقصي وجود المادة المعتمة والطاقة المعتمة لكونه يزود بطريقة مباشرة رسم خريطة لتوزيع المادة المعتمة في الكون، ومن هذا التوزيع للمادة المعتمة يمكن تقصي وفهم طبيعة المادة المعتمة وتحديدها بشكل أكبر حيث تؤثر المادة المعتمة على التطور الهيكلي للكون وهذه الطريقة مستعملة بشكل واسع الآن ولكن نطاق أشارة التعدس الضعيف ضيق جداً بحيث أن الكشف عن التعدس الضعيف يعتمد على دقة التقنية المستعملة في تحليل المعلومات، وطبقاً للارصادات الحالية يسود الاعتقاد بأن الجزء الكبير للكون هو مادة معتمة لا تبعث اشعة كهرومغناطيسية ،ووجودهذه المادة المعتمة مستنتج بشكل

غير مباشر من تأثيراتها الجذبية على حركة الأجرام الفلكية و تأثيراتها الجذبية على الانتشـــار الضوئي.

3-5-1 التعدس الجذبي الدقيق [micro gravitational lensing]

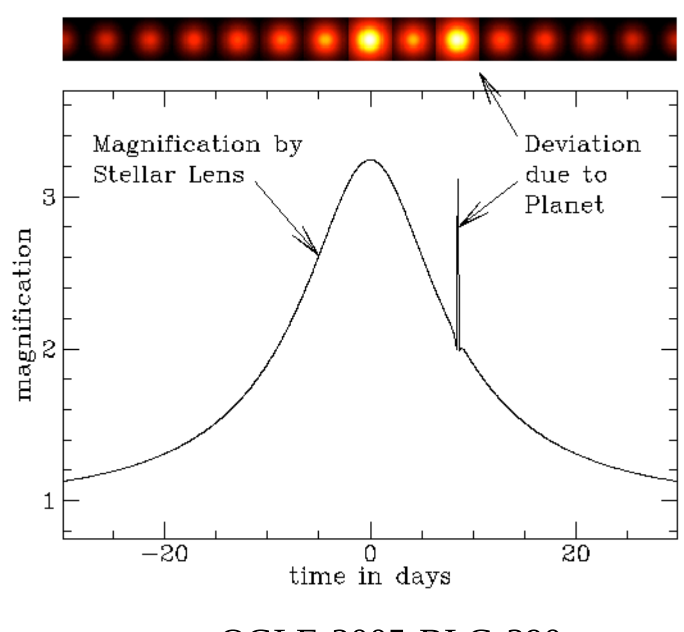
ويحدث هذا التعدس عندما يكون هناك كوازرا تفصله عن الراصد عدسة مجرية فيهـــا نجم مفردٌ يمر بالقرب منه شعاع المصدر فبتأثيره الجذبي يسبب تعدساً دقيقاً لضـــوء المصـــدر (زاوية التعدس ά صغيرة جدا بضع مايكرو ثانية قوسية arcsecond).



الشكل (1-8) يمثل التعدس الدقيق بوجود نجم في طريق أشعة المصدر المنحنية عن تعـــدس جذبي قوي بتأثير المجرة (أنظر صورة المصدر A).

ولا يمكن رصد ذلك في هذا النوع إذ ليس هناك تشويه لصورة المصدر يمكن أن يرى، فصورة المصدر ليست مشوهة، ولكن كمية الضوء القادم من المصدر تتغير شدته مـــع مـــرور الزمن. (Wambsganss J., 1990)

اكتشف Irwin وآخرون عام (1989) التعدس الجذبي الـدقيق فـي صـور الكـوازر Q2237+0305، وحتى عام 2005 أمكن رصد 2000 حالة تعدس جذبي دقيـق، ويسـتخدم التعدس الجذبي الدقيق للكشف عن الكواكب في المجموعات الشمسية. كما في الشكل (1-10)

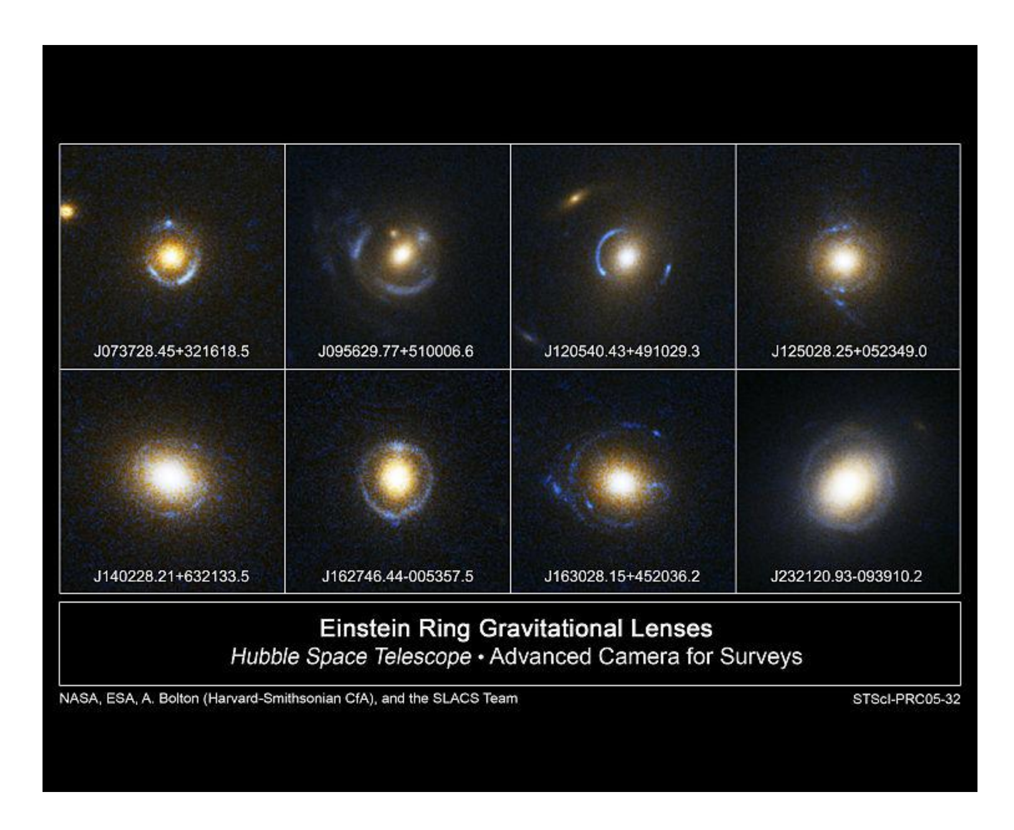


OGLE-2005-BLG-390

الشكل (1-10) يبين أن كمية الضوء القادم من المصدر تتغير شدته مع مرور الزمن و يبـين تأثير الانحناء الضوئي الدقيق الناتج عن مرور كوكب (Beaulieu et al 2006)

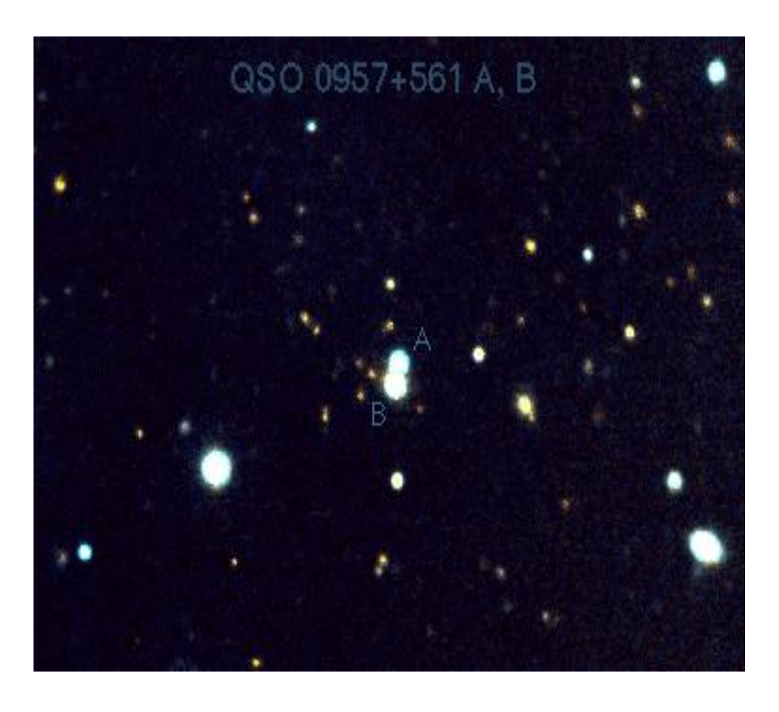
6-1 تصنيف العدسات الجذبية بحسب عدد وأشكال الصور:

1. الاشكال الحلقية للصور (وتظهر عندما يكون الراصد والعدسة الجذبية والمصـدر تقـع على المحور البصري) وفيما يلي الشكل (1-11) نظهر فيه الصور الحلقية:

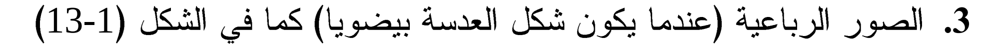


الشكل (1-11) يبين تكون صور على شكل حلقة آينشتاين

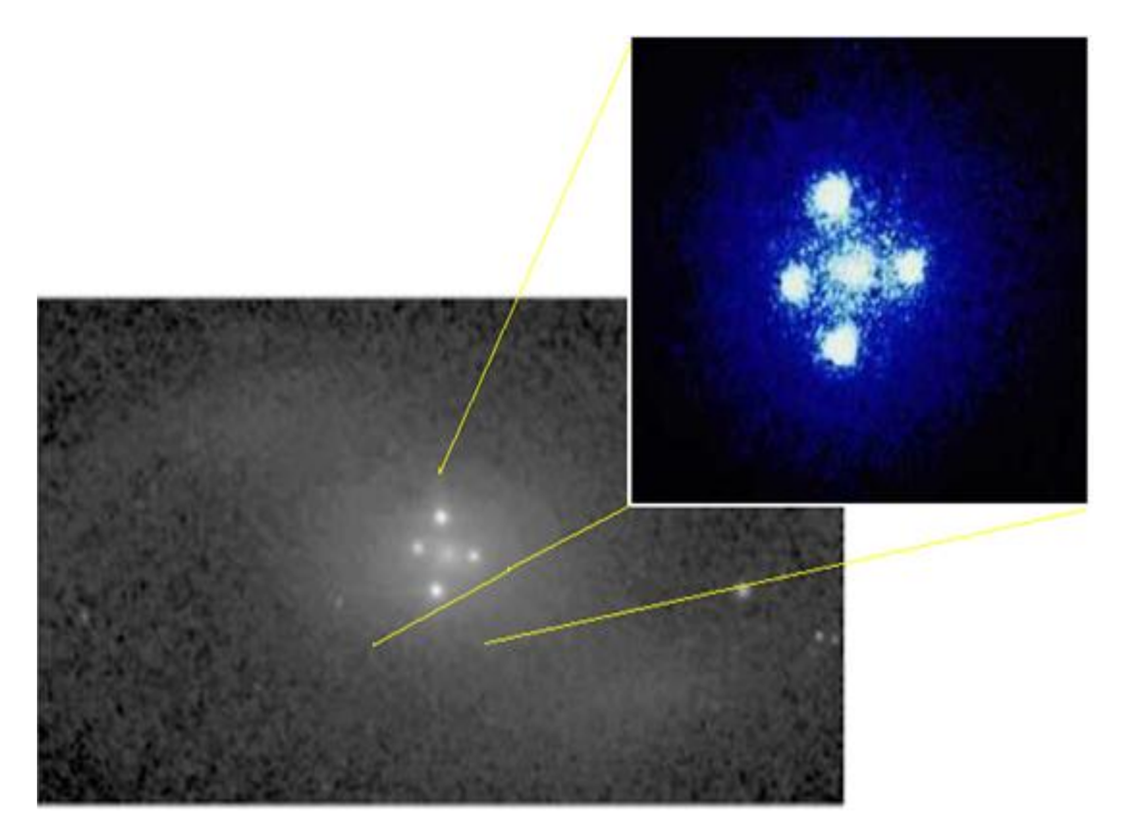
2. الصور الثنائية (عندما يكون شكل العدسة كرويا) كما في الشكل (1-12).



الشكل (1-12) يظهر فيه the quasar 0957+561 بصورتيه A and B
(Walsh etal,1979)



3. الصور الرباعية (عندما يكون شكل العدسة بيضويا) كما في الشكل (1-13)



الشكل (1-13) يمثل نظام التعدس الجذبي 2237+0305 متضمنا عدسة جذبية هـــي مجــرة لولبية ذات زحزحة حمراء جذبية ZL=0.039 واربعة صور لمصدر (كـــوازر) ذو زحزحـــة حمراء جذبية ZS=1.69 ، الصور ماخوذة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي

وهذا النظام التعدسي مكتشف من قبل (Huchra etal 1985).

7-1 أهمية ظاهرة التعدس الجذبي:

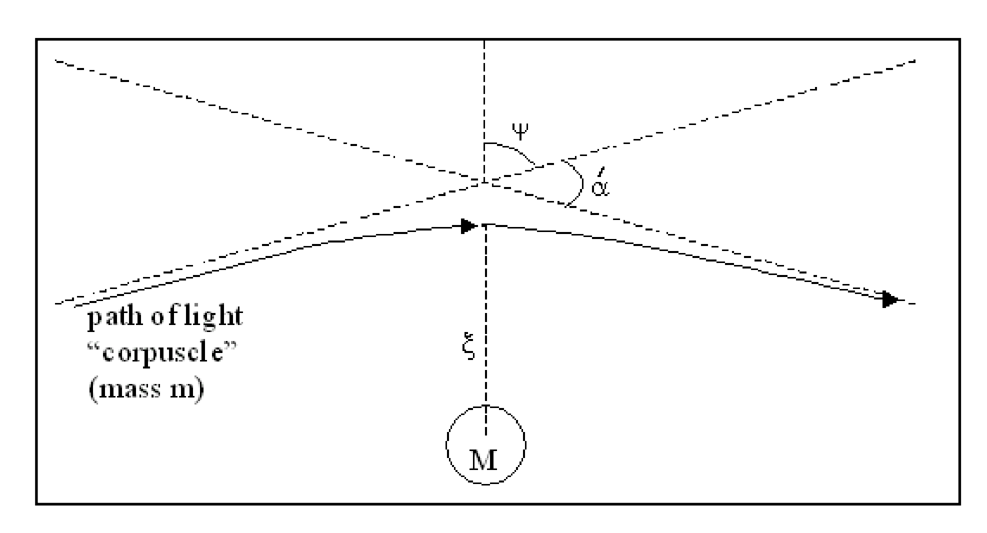
تستعمل الظاهرة لتحديد كتلة العناقيد المجرية وكـــذلك فـــي تكبيـــر الاجســـام البعيـــدة (بالقياسات الفلكية) فهي تتصرف كتلسكوب طبيعي، ولها أهمية كبيرة في دراســـات التوزيـــع الكتلـــي للمـــواد المركـــزة المضـــغوطة (Massive Astronomical halo Objectes, MACHO)، وحساب قيمة ثابت هابل باستخدام التعدس الجـــذبي فمـــثلاً (saha etal ,2006) حدده بـــ $H_0 = 72^{+8}_{-11}\,\mathbf{km}\ s^{-1}\quad Mpc^{-1}$.

إنّ إستخدام نموذج معين للعدسة الجذبية وقياس زمن التأخير بين صور العدسة يجعــل قيمة ثابت هابل المحسوبة ستختلف عندما يكون نموذجاً آخراً للعدسة، إلا أنّ في عموم حسابات الدراسات لحد الآن كان معدل قيمة ثابت هابل تتراوح بين$[60 \rightarrowtail 75]\mathbf{kms^{-1}}\ Mpc^{-1}$ ، وبدت اهمية الظاهرة في الكشف عن المادة المعتمة في حالة التعدس الجذبي الدقيق من ملاحظة التباين في الشدة الضوئية بمرور الزمن الحاصل جراء عدسة جذبية (هــي المــادة المعتمــة) والمصدر نجم في مجرة درب التبانة (mcclelland,2008).

1-2 انحناء الضوء حسب مفاهيم نيوتن:

على فرض أن ε هو عامل السماحية لمرور الضوء ، E هي طاقة الوضع للفوتون، L هو الزخم الزاوي للفوتون ، ξ هو بعد التأثير (impact parameter) ، ά زاوية انحناء الضوء m’ هي كتلة الفوتون ، M هي الكتلة الكبيرة. (Frankle and Brecher, 1982)

الزاوية ά = (180-2ψ)



الشكل رقم (2-1) يبين انحناء الضوء (في ضوء مفهوم نيوتن)

في الشكل (2-1) ينحني الضوء بزاوية $\bar{\alpha}$ بسبب جاذبية الكتلة M حيث يعطي عامل السماحية لمرور الضوء حسب العلاقة (2-1).

فيكون

$$\varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2EL^2}{G^2M^2m^3}} \quad \text{---------}(1-2)$$

حيث أن

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{\xi} \quad \text{---------}(2-2)$$

وأن

$$L = \xi mv \quad \text{---------}(3-2)$$

اذن

$$\varepsilon = \sqrt{1 + \frac{\xi^2 v^4}{G^2M^2} - \frac{2\xi v^2}{GM}} = \pm\sqrt{\left(1 - \frac{\xi v^2}{GM}\right)^2} = \frac{\xi v^2}{GM} \pm 1 \quad \text{-----}(4-2)$$

ولما كان

$$(C=V) \quad \text{---------}(5a-2)$$

وان

$$\frac{c^2\xi}{GM} >> 1 \quad \text{-------}(5b-2)$$

فيكون (6-2) ------------------ $\varepsilon \approx \frac{c^2\xi}{GM}$

وحيث ان قيمة الزاوية ψ هي 90 درجة، عندما تكون السماحية $\epsilon = \infty$ ، في حين $\cos 90=0$ cos

إذن عندما $\epsilon = \infty$ تكون $\cos\psi = \frac{1}{\epsilon}$ إذن بشكل عام $\cos\psi \geq \frac{1}{3}$

إذن

$$\cos(\psi) = \frac{1}{\varepsilon} \Rightarrow \psi = \cos^{-1}\left(\frac{GM}{c^2\xi}\right) \quad \text{--------------- (7-2)}$$

فيكون

$$\acute{\alpha} = \pi - 2\psi = 2\left(\frac{\pi}{2} - \psi\right) \approx 2\left[\frac{\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{GM}{c^2\xi}\right)\right] \quad \text{------ (8-2)}$$

$$\acute{\alpha} = \frac{2MG}{c^2\xi} \text{ ———————— (9 -2)}$$

(Blandford. R. D and Narayan. R ,*1992*)

2-2 التعدس الجذبي حسب النسبية العامة (هندسة الزمكان):

إنّ مما حفز التوجه العلمي نحو هذه الظاهرة هو الشرح الوافي الــذي قدمتــه نظريــة النسبية العامة في فهم الظاهرة وفيما يلي التفصيل.

1-2-2 نظرية النسبية العامة:

إنّ من أهم ما أثار اهتمام الباحثين في علم الكون، هــالات المجــرات ومــم تتكــون، والحركة الدورانية للكون ،فقد كانت هذه الاهتمامــات اســتفهامات أجابــت عليهــا النظريــة النسبيةالعامة من خلال ظاهرة التعدس الجذبي، حيث دعم مفهوم التعدس الجذبي (عنــد قيــاس مقدار انحناء الضوء أثناء الكسوف عام 1919 ومطابقته لحسابات آينشتاين في نظرية النســبية العامة) مفاهيم نظرية النسبية العامة منذ عام 1919، و تبع ذلك اكتشاف Walshm,Carswell and Weymann (1979) للعدسة الجذبية ذات الصور المضاعفة مما زاد الاهتمام بالتعــدس الجذبي بشكل كبير، فقد كان أفضل وصف لظاهرة التعدس الجذبي حتى يومنا هذا هو من خلال

نظرية النسبية العامة إذ أنه حسب مفهوم آينشتاين للجاذبية فإن وجود الكتلة يغيــر مــن شــكل الزمكان وإن تــأثير التعــدس الجــذبي يمكــن اشــتقاقه مــن معادلــة المجــال لآينشــتاين (Bartel, 1985).

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} \quad \text{-----------------(10 -2)}$$

حيث ان G ثابت الجاذبية و $T_{\mu\nu}$ ممتد ضغط الطاقة الذي يعني كمية المادة الموجــودة و $R_{\mu\nu}$ممتد التحدب و $\mathbf{R}$ التحدب الغير متجه و $\mathbf{g}_{\mu\nu}$ ممتد المصفوفة و $\mathbf{\Lambda}$ الثابت الكــوني فالحــد $\Lambda g_{\mu\nu}$ اضافه آينشتاين مؤخرا ليتسنى تصور كون مستقر والمعادلة (2-10) تصف الجاذبيــة بدلالة تحدب الزمكان وتحدد هندسة الزمكان معتمدة على وجود المادة، حلول هذه المعادلة هــي مركبات ممتد المصفوفة (Clifford M. Will.,2011) والتي تستعمل لحساب مسارات الاجسام أو مسارات الضوء المنحنية وتضاريس الخطوط في الهندسة الناتجة. والممتدات في الحقيقة هي مضاعفات المتجهات وإذا امعنا النظر في معادلة المجال لآينشتاين Einstien field equation (EFE) نجد أن الطرف الايمن من المعادلة يمثل وجود المادة،اما الطرف الايسر فهــو يمثــل هندسة الزمكان الذي يحتويها والحل لمعادلات المجال هذه،هي المصــفوفة المتنــاظرة كرويــا المعتمدة على الزمن (Lubbe, C. Antonio,J., 2011)، هذه المصفوفة هي المناسبة لوصف أنتشار الضوء على مقربة من مصدر كتلي كبير، وإذا كان الفضاء خالياً إلا من الكتلة M فانــه عند r=0 يكون حل معادلات المجال كما يلي:

$$0 = \left(1 - \frac{2MG}{rC^2}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr}{1 - \frac{2MC}{rc^2}} - r^2 \left(d\theta^2 \sin\theta^2 d\alpha^2\right) \quad \text{---- ---- (11 -2)}$$

وهذا الحل لـــ Schwarzschild حيث ان θ و α و r هي الاحداثيات الكروية

و t يمثل الزمن، فتكون زاوية الانحناء:

$$\acute{\alpha}=\frac{4MG}{c^2\xi} \quad (12\ -2)$$

(Brecher, 1982) لاحظ المعادلة (2-9) للمقارنة في حين أن آينشتاين عـــام 1915 درس حركة الاجسام المتحركة بتعجيل، وهذا التعجيل بشكل عام يحدث بشكلين: إما أن تكـــون هناك قوة خارجية مؤثرة ويسمى هذا التعجيل بالتعجيل القصوري والشكل الثاني للتعجيل تعجيل الجاذبية وقد بنيت النظرية النسبية العامة على مبدأين اساسيين هما:

(1) مبدأ التكافؤ principle of equivalence : مبدأ التكافؤ الذي يـــنص علـــى ان: الكتلـــة القصورية والكتلة الجذبية متكافئتان ولايمكن التمييز بينهما أي أن الاطار المعجل يكافئ الاطار الجذبي وانه في السقوط الحر للاجسام جميع الاجسام تسقط بنفس المعدل في مجـــال الجاذبيـــة وبغض النظر عن كتلتها وتركيبها المادي وهذا المبدأ مبني على الملاحظة التجريبية أما رياضياً فلبرهنة مبدأ التكافؤ، يمكن استعمال قانون نيوتن لحركة جسيم كتلته القصورية mi وواقع تحت تأثير قوة خارجية (Acosta, 2001)

$$F=\boldsymbol{m_i a} \quad (13\text{-}2)$$

حيث ان a هو التعجيل أما الكتلة القصورية mi فتعبر عن معامل مقاومة الجسم لتأثير القوى الخارجية، في حين كتلة الجاذبية (التثاقل)mg فهي معامل يعين مدى قوة جـــذب الجســـم تحت تأثير المجال الجذبي كما في المعادلة:

$$F=\boldsymbol{m_g g} \quad (\mathbf{14-2})$$

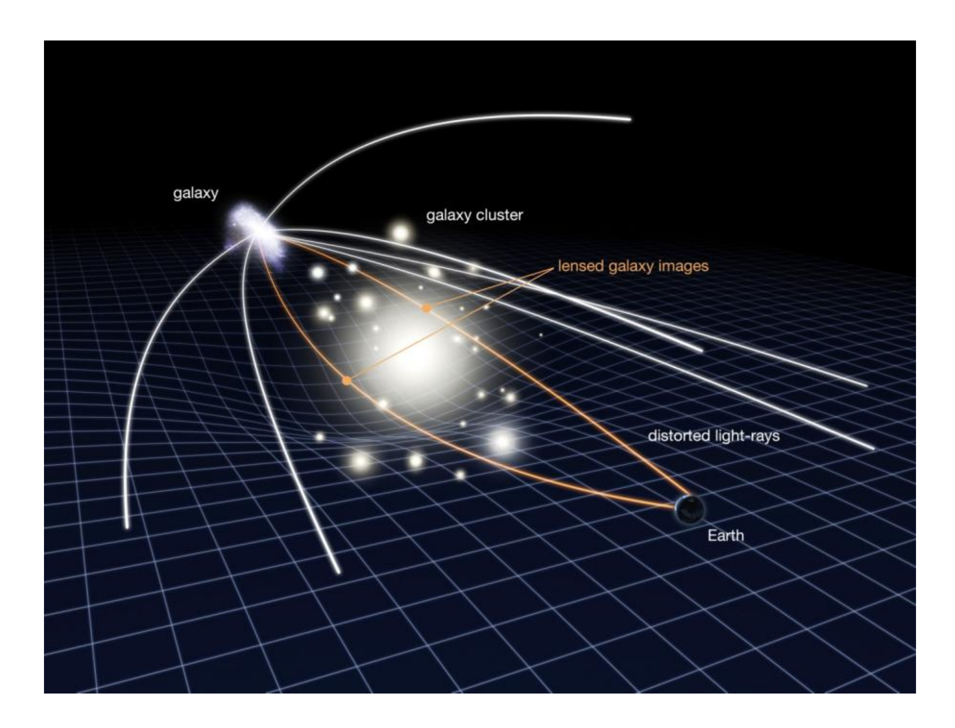
وبتطبيق مبدأ التكافؤ للكتلتين نجد ان:

$$m_i \frac{d^2x}{dt^2} =: m_g g \text{-----------------} (15-2)$$

$$g = \frac{d^2x}{dt^2} \text{---------------------------} (16-2)$$

من هذه المعادلة (2-16) المعروفة جدا بين اوساط الفيزيائيين يتبين بان معدل سقوط الاجسام تحت تأثير الجاذبية (مع اهمال اية قوى خارجية اخرى) لا يعتمد على كتلتها، فحاول آينشتاين ان يبرهن في نظرية النسبية العامة أن الجاذبية لها تأثير على الزمكان.

(2) مبدأ عدم التغاير principle of invariance وينص على أن الصيغة الرياضية للقوانين الفيزيائية لا تعتمد على الحالة الحركية للأحداثيات سواء أكانت هذه الحركة منتظمة أم بتعجيل، فما عُلِمَ من النسبية الخاصة أن القوانين التي تصف الظواهر الفيزيائية في الفراغ يجب ان تكون مستقلة عن سرعة المراقب الذي يدون القياسات وكذلك يجب أن يكون لهذه القوانين نفس الشكل والمكونات وذلك عندما نرجعها إلى احداثيات كارتيزية اخرى تتحرك بسرعة منتظمة اما في النسبية العامة فالقوانين موضوعة بصورة عامة ولا تعتمد على حركة المصدر أو الراصد ،وهذه الخاصية لا تتأتى إلاّ باستخدام الممتدات (Clifford M. Will.,2011) وذلك لأن صياغة معادلات القوانين بصيغة الممتدات تكون لها نفس الشكل والتركيبة لجميع نظم الاحداثيات، إن فرضيات النظرية النسبية العامة تفسر الجاذبية بدلالة هندسة الزمكان فبعيداً جداً عن مصادر الجاذبية كالنجوم والكواكب نجد إن الفراغ يكون مسطحاً، بينما بالقرب من مصدر الجاذبية يكون المكان منحنياً كما في الشكل رقم (2-2).



الشكل رقم (2-2) يبين تقعر المكان بالقرب من المجال الجذبي القوي مما يسبب انحناء الشعاع الصادر عن المصدر وتكوين الصورة في موضع مغاير للمكان الحقيقي وهذا هو سبب ظهـــور حالات التعدس الجذبي القوي، والضعيف والدقيق
(Wambsganss, 2001) , (Eddington A.,1987)

2-2-2 هندسة الزمكان:

إنّ هندسة ريمان، وتجربة مايكلسون ومورلي التي أثبتت أن سرعة الضوء ثابتـــة فـــي الفراغ، كانتا الأساس في بناء آينشتاين لنظريته النسبية العامة، وما يعني الباحث في موضـــوع التعدس الجذبي من نظرية النسبية العامة هو المتصل الزمكاني (space-time) للكون، حيـــث يكـــون الزمـــان نســـبيا والمكـــان منحنيـــا وســـرعة الضـــوء هـــي أكبـــر ســـرعة ممكنـــة (Roger J. Anderton, 2009)

وسبق ذكر تاييد الارصاد الفلكي لتنبأ آينشتاين، في الفصل الاول (فقـــد وافـــق نتـــائج الرصد الذي قام به Eddington وجماعته عام 1919 عندما قاسوا أثناء كسوف الشمس، قيمة زاوية انحناء شعاع الضوء القادم من النجوم القريبة من الشمس، وقارنوها بالقيمة التي تنبأ بهـــا

آينشتاين حسب النسبية العامة فوجدوها 1.75 arcsec بفارق 30 % عن القيمة التـــي حســـبها (Paraficz, 2010).

3-2 الزحزحة الحمراء:

تعرف الزحزحة الحمراء بأنها النسبة بين مقدار الزيادة في الطول الموجي إلى الطـــول الموجي red shift ويعبر عنها بالمعادلة:

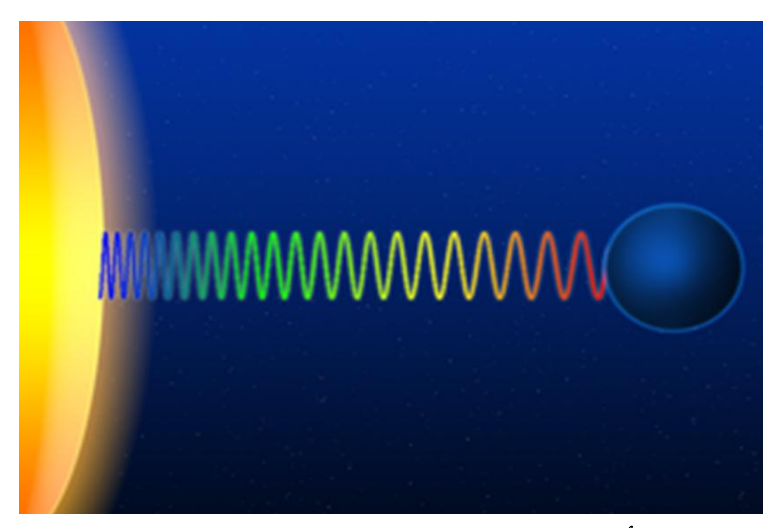
$$Z=\frac{\lambda_{obs}-\lambda_{emit}}{\lambda_{emit}} \quad \text{---------------------------} \quad (17\text{-}2)$$

حيث ان z الزحزحة الحمراء . λ_{obs} طول الموجة المستلمة من قبل الراصد ، λ_{emit} طول الموجة المنبعثة الاصلية والزحزحة الحمراء يمكن تصنيفها إلى عدة أصناف هي:

(1) الزحزحة الحمراء الكونية (cosmological red shift) وهي ناتجة عن توسع الكـــون (تباعد النجوم عن بعضها البعض وعن الراصد) (Bartelmann etal, 2001)

(2) الزحزحة الحمراء الناتجة عن تأثير دوبلر (Doppler effect) وهي ناتجة عن الحركـــة النسبية بين المصدر والراصد وتكون الزحزحة نحو الاحمر إذا ابتعد المصدر عن الراصد، فان ظاهرة دبلر لم تكن مطبقة على الضوء قبل النظرية النســـبية، ولكـــن اينشـــتاين أول من طبقها على الضوء. (Parafiz, 2010)

(3) الزحزحة الحمراء الجذبية (gravitational red shift) وهي ناتجة عن تغيـــر شـــدة المجال الجذبي بين موقعي المصدر والراصد، حيث انه بتأثير تغير شدة المجـــال الجـــذبي يكون الطول الموجي المستلم مختلفا لاحظ الشكل (3-2).



الشكل (2-3) يوضح كيف أن الشعاع المنطلق من مجال جذبي يقل تردده بالاتجاه بعيدا عن مركز الجاذبية

وحيث ان $c=\lambda f$ سرعة الضوء في الفراغ، والزيادة في الطول الموجي هو زحزحة نحو المنطقة الحمراء من الطيف وقد تم قياس هذا التأثير عمليا عام 1960 من قبل Roberd Pound و Glen Rebka وذلك باستخدام اشعة كاما، والزحزحة المقاسة كانت صغيرة، مقارنة مع الازاحات الناتجة من طيف النجوم عالية الكثافة، مثل نجوم الاقزام البيضاء، ويجب التمييز بين زحزحة الجاذبية الحمراء وزحزحة دوبلر الحمراء حيث ان الاخيرة تتطلب حركة عكس اتجاه المراقب.

وللاثبات النظري للزحزحة الجذبية الحمراء نجد ان الطاقة الكلية E لجسيم مثل الفوتون الذي تردده f∘ وكتلته m تعطى بالعلاقة التالية

$E=mc^2 = h f_\circ$ ----------------------------(18-2)

حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ (Acosta , 2001) ومن العلاقة الاخيرة (2-18) نجد ان طاقة الوضع لجسيم كتلته m من جسيم آخر كتلته M تحسب كالآتي:

$U=-G\frac{Mm}{r} = -G\frac{Mh}{rc^2} fo$ -------------------------(19-2)

حيث ان G ثابت التجاذب و r مسافة البعد عن مجال الجاذبية والآن عند هروب الفوتون من مجال الجاذبية سوف يكتسب ترددا مختلفاً يعطى بالعلاقة التالية:

$$hf = hf_{\circ}\left(1 - \frac{GM}{rc^2}\right) \text{ ---------- } (20\text{-}2)$$

$$f = f_{\circ} - f_{\circ}\frac{GM}{rc^2} \text{ ---------- } (21\text{-}2)$$

$$\frac{f - f_{\circ}}{f_{\circ}} = \frac{-GM}{rc^2} \text{ -------- } (22\text{-}2)$$

حيث ان الزحزحة باتجاه التقليل من التردد وهي زحزحة الجاذبية الحمراء (هذا في حالة الفوتون يترك مجال الجاذبية)، أما إذا سقط الضوء في مجال الجاذبية فـإن الزحزحـة تعطـى بالعلاقة التالية:

$$hf = hf_{\circ}\left(1 + \frac{GM}{rc^2}\right) \text{ ---------- } (23\text{-}2)$$

$$f = f_{\circ} + f_{\circ}\frac{GM}{rc^2} \text{ ---------- } (24\text{-}2)$$

$$\frac{f - f_{\circ}}{f_{\circ}} = \frac{+GM}{rc^2} \text{ ---------- } (25\text{-}2)$$

(Bartel, 1985)

وبصورة عامة تكون العلاقة كما يلي:

$$hf = hf_{\circ}\left(1 \pm \frac{GM}{rc^2}\right) \text{ ------------ } (26\text{-}2)$$

4-2 قياس الابعاد الكونية:

يوجد عدد من الطرق لقياس المسافات الكونية كما أوضحها Weinberg عام 1972 أهمها :

(1) طريقة السطوع الظاهري (apparent luminosity)

السطوع الظاهري هو السطوع المطلق لوحدة المساحة

$$l = \frac{L}{4\pi D^2} \text{ -------- } (27\text{-}2)$$

(حيث ان I شدة السطوع الظاهري، L شدة السطوع المطلق، $4\pi D^2$ المساحة السطحية لكرة نصف قطرها D مركزها الملاحظ (Observer))

إذن فمسافة السطوع تكون:

$$D_I = \sqrt{\frac{L}{4\pi I}} \quad \text{------------} \quad (28-2)$$

(2) طريقة مقارنة مسافة البعد الحقيق للنجم مع مسافة البعد الزاوي المرصود في الفضاء الاقليدي:

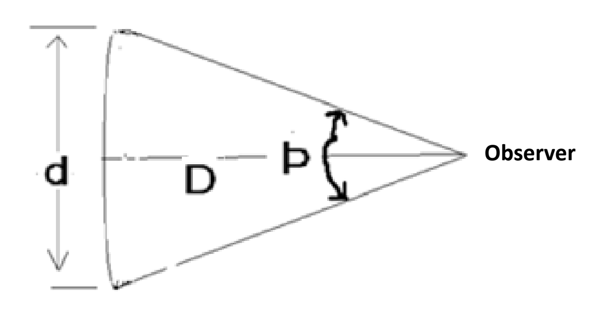
إذا افترضنا أن d تمثل مدى التغير في موقع النجم من وجهة نظر الملاحظ، D المسافة الحقيقية لبعد النجم عن الملاحظ. ولما كانت þ = tanþ عندما تكون þ صغيرة، أي أن:

$$þ = \frac{d}{D} \quad \text{------------} \quad (29-2)$$

إذن تكون مسافة القطر الزاوي:

$$D_A = \frac{d}{þ} \quad \text{------------} \quad (30-2)$$

(Gorenstein , etal 1988) أنظر الشكل (2-4)



الشكل (2-4) يوضح أمكانية تخمين مسافة البعد الحقيقي للجرم السماوي من معرفة مسافة البعد الزاوي المرصود في الفضاء الاقليدي ومعرفة المسافة التخمينية لبعد الجرم عن الراصد

(3) طريقة الحركة الحقيقية: وذلك عن طريق ملاحظة مقدار زحزحة الجسم عن موقعه الاصلي في الفضاء، الناتجة عن الحركة الحقيقية للجسم المرصود بالنسبة للشمس. (Sereno M. , 2008).

5-2 زمن التأخير:

إذا كان موقع المصدر متغير عند ذاك ستكون هذه التغيرات مرصودة في الصور ولا يشترط ان يظهر التغيير في الصور في وقت واحد، فقد يكون هناك تأخر في الزمن بين ظهور التغيير في الصورة الاولى وظهوره في الصورة الثانية وهناك سببين لهذا التأخير في الزمن أولهما يطلق عليه المركبة الهندسية لزمن التأخير، حيث ان المسافة إلى الصورة الاولى (في حالة وجود صورتين) تختلف عن المسافة إلى الصورة الثانية، فيمكن ايجاد الفرق في الزمن باستخدام علم المثلثات وأشتقاق زمن التأخير الهندسي، وثانيهما يطلق عليه المركبة الجذبية لزمن التأخير حيث أن الضوء خلال مروره عبر العدسة الجذبية يمر عبر أجزاء مختلفة من الجهد الجذبي للعدسة ،حيث ان اجزاء العدسة قد تكون متباينة من حيث الجهد الجذبي، وهذا ما يطلق عليه زمن تأخير شابيرو (Shapiro time delay) (Sereno,M, et al, 2008) ، وهذا القسم الجذبي لزمن التأخير يعتمد على الكثافة السطحية (وهي ليست واحدة في جميع نواحي العدسة)، فهي المصدر الرئيس لعدم التأكد في حسابات هذا القسم من زمن التأخير (Barkana, 1997)، ويمكن كتابة عموم زمن التأخير بالشكل الآتي:

$$\partial t= \frac{Ds\, DL}{DLs}\frac{1+Zl}{c}\left\{+\frac{1}{2}(\theta-B)^2-\varphi[\theta]\right\} \text{------} [31\text{-}2]$$

ويجب ملاحظة ان D_L . D_s D_{LS}. هي دوال معقدة لـــ Z و H_o و Ω'_M و, Ω'_A حيــث ان z هي قيمة الزحزحة، و H_o هو ثابت هابل، ρA كثافة المادة المعتمة الكونية، و ρM كثافة المادة الكونية و $\rho crit$ الكثافة الحرجة اللازمة للتحدب الكوني، و $\Omega'_A = \frac{\rho A}{\rho crit}$ هي نسبة كثافةالمادة الكونيةالمعتمة و $\Omega'_M = \frac{\rho M}{\rho crit}$ نسبة كثافة المادة الكونية، (Petters, A.,etal, 2001).

كما في المعادلة (2-32):

$$D=\frac{C}{H_{o\sqrt{1-\Omega_A\Omega_M}}}\sin\int_{zl}^{zs}E[z]dz \text{---[32-2]}$$

وعلاوة على ذلك فإن العدسات ليست نقاطاً فـــي أبســط حالاتهـــا، فـــيمكن أن تكـــون اهليليجية، ولكن هذه المجرات منتظمة ضمن عنقود مجري، لذا فإن العدسات الجذبية الحقيقيـــة تتضمن تأثيري المجرة والعنقود المجري الذي يتضمنها، وبالامكـــان حســـاب زمـــن التـــأخير بالمراقبة، والرصد لصور التعدس، فإذا كان المصدر متغير فهذا التغير، ســوف يلاحـــظ مـــن منحنيات الضوء لكلا الصورتين في وقت مختلف، فإيجاد زاوية موضع الصورة θ والزحزحة الحمراء للعدسة والزحزحة الحمراء للمصدر، جميعها مطلوب في حسابات تأخر الزمن، حيـــث ان عامل الزحزحة الحمراء للعدسة واضح في المعادلة [2-28] ضمن الحد $1 + Zl$ ، في حين ان الزحزحة الحمراء المصدر تتضمنه المسافة Dos ، أما حساب الزحزحة الحمـــراء للعدســـة الجذبية فتتم بحساب الفروقات الصغيرة للاضاءة بين الصور ومقارنة لمعان العدسة الجذبية مع لمعان المصدر، في حين يتعذر تحديدها بالارصادات الفلكية، في عام 1964 يعد Refsdal أول من أثبت وجود أختلاف في زمن وصول الموجة الضوئية من المصدر إلـــى الراصـــد نتيجـــة لاختلاف المسارات التي ينتقل فيها الضوء في العدسات الجذبية، فعندما تنتقل الفوتونات القادمة من مصدر بعيد إلى الراصد سوف تكون معرضة لتأثير المجال الجذبي للعدسات الواقعة علـــى

طول خط الرؤية، فوجود هذه العدسات سيؤدي إلى تحدب مسار الفوتونات ويصبح اطول من مسارها الاعتيادي، وبذلك ستأخذ الفوتونات زمنا اطول عند انتقالها من المصدر، من تلك التي تاخذ المسار غير المنحني (Paraficz, 2010)، الاختلاف الهندسي في المسارين (المنحني وغير المنحني) ينتج تأخراً في زمن وصول الفوتونات المنحنية في سيرهاعن غير المنحنية إلى الراصد ويسمى هذا التأخر بزمن التاخير الهندسي geometrical time delay ، كما أن المرور على مقربة من المجال الجذبي للعدسة يسبب زمن التأخير الجذبي، في حين أن المجال الجذبي للعدسة سيجعل الضوء يتأخر في الوصول تأخير ثانٍ (Courbin,2003)، بحثه Shapiro في عام 1964 ويعبر عن زمن التأخير الكلي بالمعادلة:

$$\left[\frac{1}{2}(\theta - B)^2 - \psi(\theta)\right] = t(\theta)_{total} = (t_{geom} + t_{grav}) = \frac{(1+ZL)D_{OS}D_{OL}}{CD_{LS}} \quad ---(33-2)$$

يمثل الحد الاول زمن التأخير الهندسي والحد الثاني يمثل زمن التاخير الجذبي و Z_L الزحزحة الحمراء للعدسة ، θ و B الموقع الزاوي لكل من الصورة والمصدر على التوالي، D_{LS} مسافة القطر الزاوي بين العدسة والمصدر، Do_L مسافة القطر الزاوي بين المراقب والعدسة، D_{OS} مسافة القطر الزاوي بين الراصد والمصدر، $(1+ZL)$ معامل توسع الكون (Burud etal, 2000) وبتطبيق مبدأ فيرمات في البصريات الهندسية (ينتقل الشعاع الضوئي بين نقطتين خلال اقل زمن ممكن) على العدسات الجذبية:

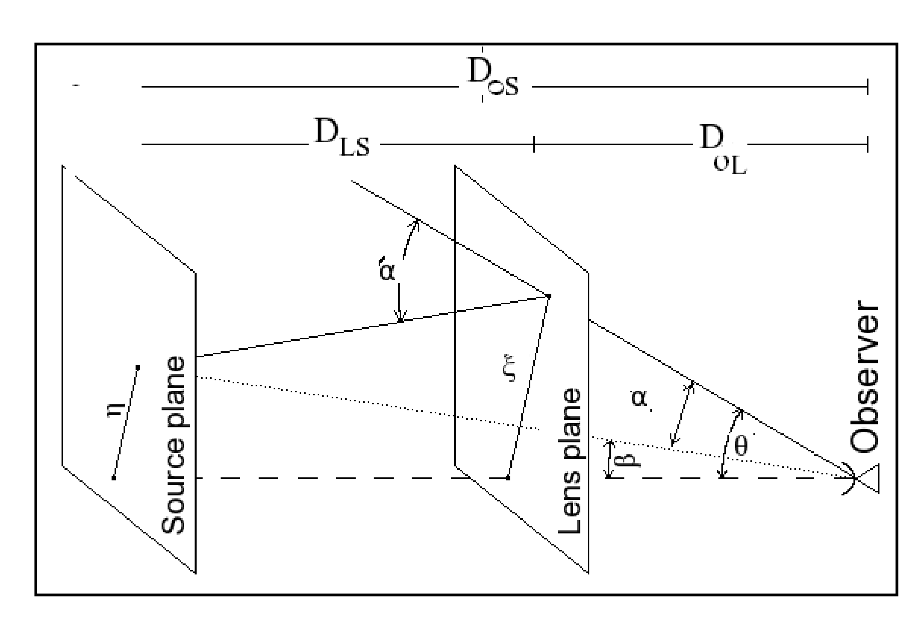
$$\nabla_\theta \quad T(\theta)=0 \quad ------(34-2)$$

نلاحظ الفرق في زمن انتقال الضوء بين نقطتين في العدسات الجذبية عن العدسات البصرية، يتمثل في كونه يتكون من حدين الأول هندسي إذ يعتمد على الابعاد الهندسية مثل بعد الصورة وبعد المصدر أما الحد الثاني فهو جذبي.

6-2 الانحناء الجذبي وتكوين العدسات الجذبية:

تستند نظرية التعدس الجذبي على انه عند وقوع جسم ذي كتلة كبيرة على الخط الواصل بين مصدر اشعة كهرومغناطيسية بعيد وراصد، فأن المجال الجذبي لذلك الجسـم يـؤدي إلـى انحناء مسار الضوء عن مساره الاصلي بزاوية (ά) تتناسب مع شدة ذلك المجال مكونة صورة المصدر وهذا ما يعرف بالتعدس الجذبي والكتلة الكبيرة المسببة للانحناء تسمى العدسة الجذبيـة gravitational lens لكونها مشابهة في سلوكها للعدسة البصرية التي تحني الضوء المار مـن خلالها، فعليه تكون مكونات منظومة العدسة الجذبية هي مصدر بعيد وعدسة وراصد كما فـي الشكل (2-5) بأفتراض ان الخط الواصل بين الراصد والعدسة يمثل المحور الأساس للعدسـة، فيكون الموقع الحقيقي للمصدر B وموقع الصورة θ وα هي الفرق بين B وθ فتكون المعادلة العامة للعدسات الجذبية:

$$B=\theta-\alpha \quad \text{------------------------} (35-2)$$



الشكل (2-5) يظهر فيه مكونات منظومة العدسة الجذبية(الخط الواصل بين الراصد والعدسة يمثل المحور الاساسي للعدسة)

7-2 نماذج وتقريبات العدسات الجذبية:

بما ان المبدأ الفيزيائي الأساس الذي تستند عليه نظرية العدسات الجذبية هـــو انحنـــاء الضوء الناتج عن وجود كتلة يؤدي إلى تحدب الفضاء المحيط بها، وبالتالي سير الضـــوء فـــي زمكان محدب ، فأنه يمكننا عدّ العدسات الجذبية ناتجة عن الانتشار غير المتجانس للكتلة فـــي الكون والذي يعبر عنه هندسيا بأنه تشوه في المتصل الزمكاني للسطح، وبما ان المسافة التـــي ينتقل بها الضوء يجب ان لاتقل عن ثلاثة اضعاف قطر العدسة (Robert , 2000) فإن المسافة التي سيحصل فيها الانحناء صغيرة جدا مقارنة مع المسار الكلي الذي يقطعه الضوء للوصـــول إلى الراصد لذا بامكاننا افتراض أن الضوء ينتقل من المصدر إلى العدسة في مسار غير مشوه أي (زمكان مسطح)، وينحني عند مروره بالقرب من العدسة نتيجة لوجود كتلتها ليعـــود مـــرة اخرى للسير في زمكان مسطح عند أنتقاله من العدسة إلى الراصد (Sereno,2008)، وتكـــون نماذج وتقريبات العدسات الجذبية متعددة بحسب وصف انتشار الكتلة في الاجرام الكونية التـــي تعمل بوصفها عدسات جذبية مثل (النجوم، المجرات، العناقيد المجرية والـــMACHo الاجسام المضغوطة) وتنقسم هذه النماذج إلى قسمين:

1-7-2 نماذج العدسات المتناظرة دائريا:

وهي النماذج الاكثر شيوعا وتتضمن:

(1) نموذج الكتلة النقطية (التقريب النقطي) point mass lens هو النموذج الاول لوصـــف العدسات الجذبية، حيث أعتمده Chwolson عام 1924 و اعتمده Einstein عام 1936 و كذلك Refsdal عام 1964 والذي يُعدُّ من مؤسسي نظرية العدسات الجذبية، واستخدم هذا النمـــوذج (Asada, 2009) لمعرفة عدد الصور الناتجة عن خمس عدسات جذبية، وتعد العدسة النقطيـــة

من ابسط أنواع العدسات الجذبية، لانها تتصرف كما لو ان كل الكتلة الجذبية المولـــدة للمجـــال تتركز في مركز العدسة، وهذا يعني أنّ لدينا عدسة تمر الاشعة قريبا منها ولا تتخللها ولذلك فإن هذا النموذج مناسب لحساب الانحناء الناتج عن النجوم المفردة والثقوب السوداء (Mukherjee, 2005)، وتكون المعاملات الاكثر تأثيرا فيها هي كتلة العدسة ونصف قطرها وتحسب زاويـــة الانحناء الناتجة عن نموذج العدسة النقطية وفق معادلة Einstein عام 1916 أما معادلة زاوية الانحناء المنخفضة (وهي الفرق الزاوي بين الموقع الزاوي الحقيقي للمصدر والموقع الـــزاوي للصورة) لهذا النوع من العدسات فهي:

$$\alpha = \frac{DLS}{\text{DosDoL}} \frac{4GM}{\theta C^2} \quad \text{-------------} [36\text{-}2]$$

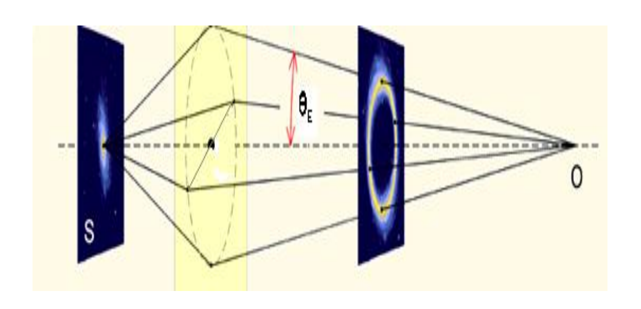
وتتكون في هذه العدسة صورتان واحدة منهما معتدلة والثانية مقلوبة ويتحـــدد موقعهـــا (Narayan&Bartelman,1997) حسب العلاقة:

$$\theta \pm \;=\; \frac{1}{2}\left(\frac{B \pm \sqrt{B^2 + 4\theta^2{}_E}}{1}\right) \quad \text{-------} (37\text{-}2)$$

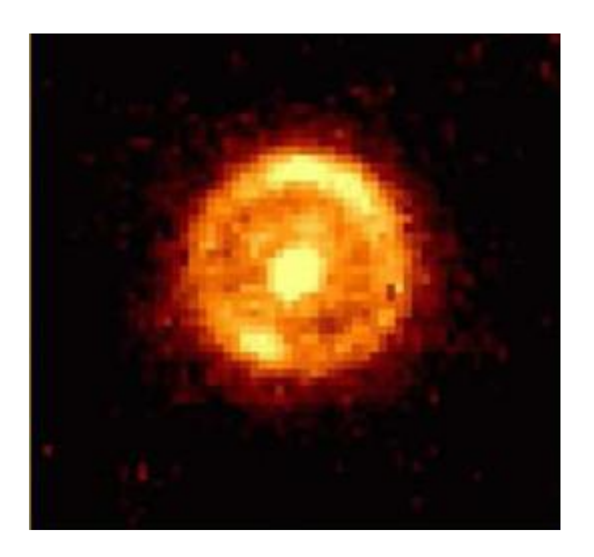
وعند وقوع المصدر والعدسة والراصد على المحور البصري تتكون بدلا مـــن هـــاتين الصورتين حلقة محيطة بالعدسة ذات نصف قطر زاوي

$$\theta_E = \sqrt[2]{\frac{4GMDLs}{DosDoLC^2}} \quad \text{----------}(38\text{-}2)$$

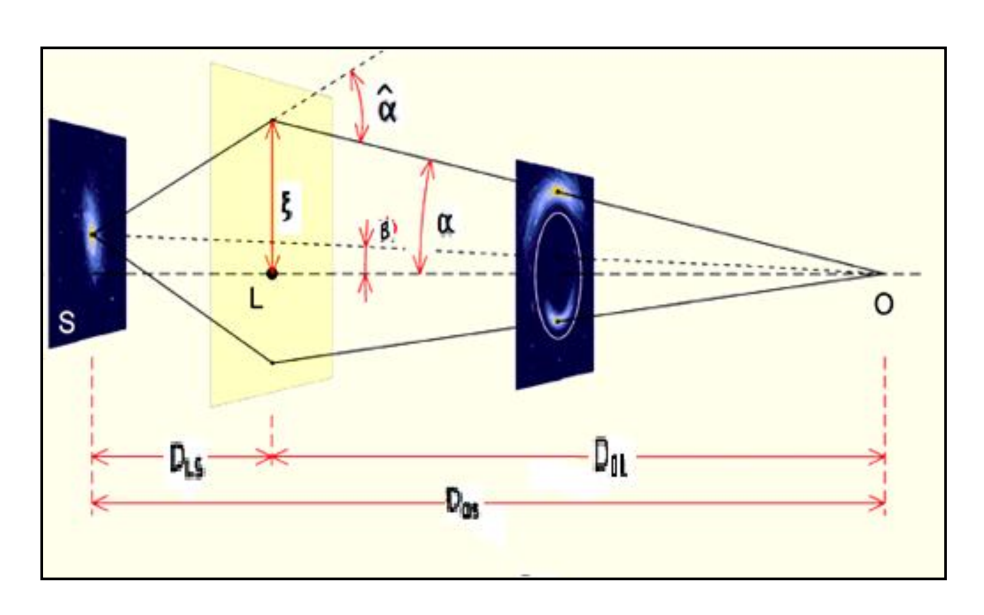
وتسمى حلقة آينشتاين (Mukherjee,2005). أنظر الشكل (2-6) والشكل (2-7)



الشكل (2-6) يوضح المصدر والعدسة والمراقب علـــى المحـــور البصـــري وتظهـــر حلقـــة آينشـــــتاين صورة المصدر علـــى شكل حلقة وعنـــدما تكون θ هي θ_E و B=0



الشكل (2-7) يظهر فيه حلقة آينشتاين للعدسة الجذبية JVAS1938+666
وعلى الاقل أحدى هذه لصور تكون مكبرة أنظر الشكل (2-8).



الشكل (2-8) يوضح تكوين صورتين مشوهتين للمصدر عندما β ≠

كما ان شدة الفيض الضوئي لصورة المصدر يتغير تبعا لتغير نسبة زاوية الصورة إلى زاوية المصدر، بمعنى آخر أن العدسة تركز الضوء، ويمكننا وصف تكبير الصورة بالمعادلـــة الآتية:

$$\mu = \left|\frac{\theta\,\delta\theta}{B\,\delta B}\right| \text{ ------------------ [39-2]}$$

(Narayan A. Bartelmann, M. et al., 1995)

(2) تقريب العدسة الرقيقة ذات الكثافة السطحية المتجانسة: يُعدُّ تقريب العدسة الرقيقة النموذج الأساس لمعرفة مدى انتشار الكتلة في العدسة بوصفه دالة لنصف القطر، فعندما تكون العدسة مجرة أو عنقوداً مجرياً فأن مقارنة المسافة الفاصلة بين المصدر والراصد التي هي حوالي 10^9 فرسخ فلكي (PC)، مع قطر المجرة (سمكها) الذي هو حوالي $50x10^3$ فرسخ فلكي، يُمَكِنُنا من عدّ ان هذا السُمْك يساوي صفراً، لذا يمكن عد العدسة صفيحة كتلوية رقيقة، وفي هذه الحالة تسمى العدسة بالعدسة الرقيقة (thin lens) (Linder, E, 2004)، يتيح لنا هذا التقريب التعامل مع الاشعة التي تمر من أية نقطة من مستوى العدسة وكأننا نتعامل مع عدسة شفافة، وستكون زاوية انحناء الاشعة بفعل المجال الجذبي دالة لبعد موقع مرور الاشعة عن مركز العدسة ξ ومجموعة الكتل المنتشرة من مركز العدسة إلى نقطة الانحناء (Mukherjee,2005)، وإذا كانت العدسة متكونة من مجموعة كتل متميزة منتشرة على وفق دالة معينة فإن زاوية التعدس الجذبي ستكون:

$$\acute{\alpha}(\xi) = \sum i \ \frac{4GM_i}{C^2} \ \frac{\xi-\xi_i}{|\xi-\xi_i|} \quad \text{------- (40-2)}$$

حيث ξ_i (يمثل بعد التأثير) عند كل كتلة M_i اما إذا كانت العدسة منتشرة غير متميزة فيتم استخدام تكامل دالة الانتشار للمساحة المؤثرة بدلا من الجمع ويعبر عن كتلة العدسة بدلالة الكثافة الكتلية السطحية للعدسة $\sum$:

$$M(\xi) = 2\pi\int_0^{\xi} \sum(\acute{\xi})\acute{\xi}\, d\acute{\xi} \quad \text{---------------- (41-2)}$$

حيث الكتلة هي $M(\xi)$ في دائرة نصف قطرها ξ وستكون زاوية التعدس (Frittelli, S.,etal ,1998)

$$\acute{\alpha}(\xi) = \frac{4GM}{C^2}\int \frac{(\xi-\vec{\acute{\xi}})\Sigma(\vec{\acute{\xi}})}{|\xi-\vec{\acute{\xi}}|^2} d^2\acute{\xi} \quad \text{-----(42-2)}$$

حيث ان $(\xi-\acute{\xi})$ هي المسافة من نقطة الانحناء إلى مركز العدسة ومعادلـــة زاويـــة الانحناء المنخفضة للعدسة الرقيقة ستكون بدلالة كثافة الكتلة الســطحية للعدســة Σ والكثافــة الحرجة Σ_{crit} (Wambsganss,2001):

$$\alpha = \frac{\Sigma}{\Sigma_{crit}}\,\theta \quad \text{------------ [43-2]}$$

ويكون القطر الزاوي لحلقة آينشتاين لهذا النوع من العدسات

$$\theta_E = \sqrt{\frac{M(\xi)}{\pi \Sigma_{crit} D_{oL}^2}} \quad \text{--------------- (44-2)}$$

(3) نموذج الكرة المتماثلة حرارياً Singular Isothermal Sphere

هو أبسط نموذج مناسب لوصف انتشار الكتلة فـــي المجـــرات وبخاصـــة المجـــرات الحلزونية (spiral galaxies)، (Wambsganss,2001)، ويقوم على أفتراض أن مكونـــات المجرة من نجوم ومكونات كتلية أخرى، تسلك سلوك جزيئات الغاز المثالي. ويكون انتشار هذه الجسيمات عند درجة حرارة واحدة أي بسرعات متساوية فيعبر عن زاوية التعدس الجذبي فـــي هذا النموذج بدلالة سرعة الانتشار (σ_ν). (Wambsganss etal ,1997)

$$\acute{\alpha} = 4\pi \frac{\sigma_\nu^2}{c^2} \quad \text{------------------- (45-2)}$$

ويلاحظ من المعادلة (45-2) أعلاه أن زاوية التعدس الجذبي لاتعتمد على بعد التأثير (ξ)

أما زاوية الانحناء المنخفضة فستكون:

$$\alpha = 4\pi \frac{\sigma_\nu}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}} \quad \text{------------- (46-2)}$$

كما في الشكل (2-8) وستكون قيمة القطر الزاوي لحلقة آينشتاين مساوية لزاوية الانحناء المنخفضة:

$$\theta_E = \alpha = 4\pi \frac{\sigma_v}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_{OS}} \text{ ----------(47-2)}$$

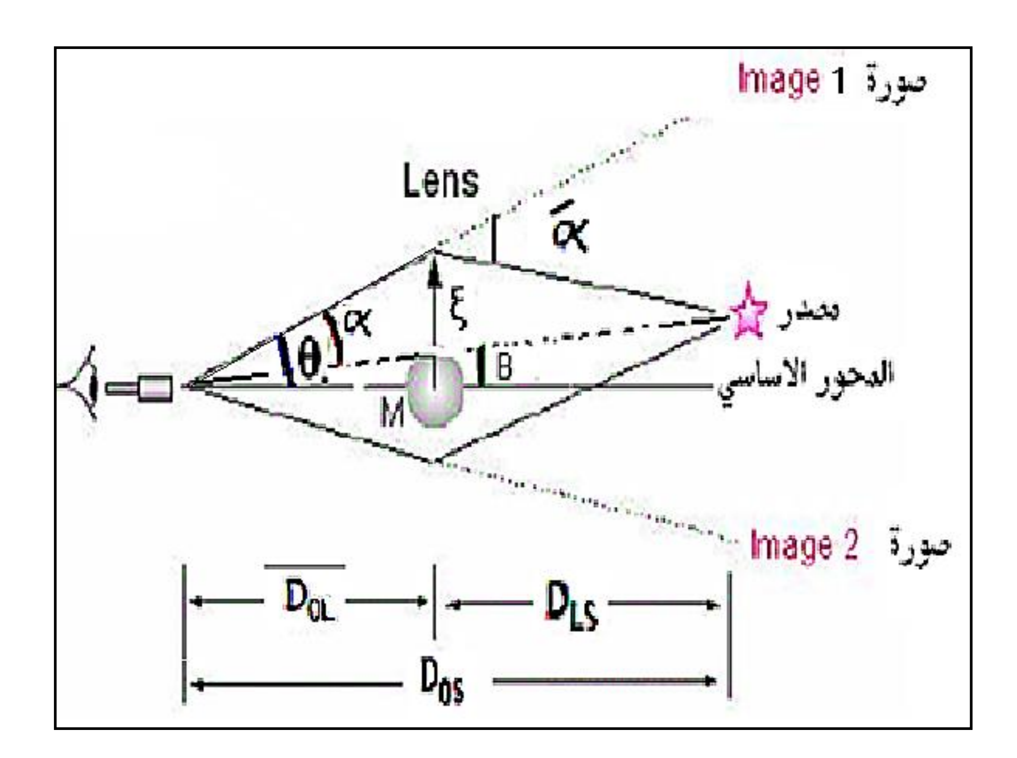
الصور المتكونة في هذا النموذج هي من 1 إلى 3 عندما يكون المصدر داخل حلقة آينشتاين ($B<\theta_E$) أنظر الشكل (2-7):

$$\theta\pm = B \pm \theta_E \text{-----------------(48-2)}$$

(Blandf ord&Narayar,1992)

أما إذا وقع المصدر خارج الحلقة ($B>\theta_E$) فستكون صورة واحدة:

$$\theta = \theta + = B \pm \theta_E \text{ ------------- (49-2)}$$



الشكل (2-9) يبين تكون صورتين لمصدر (جرم سماوي) عن عدسة جذبية

2-7-2 العدسة غير المتناظرة دائرياً

(Non-Circularly-Symmetric lens Models)

نموذج العدسات البيضوية (Elliptical Galaxy Model)

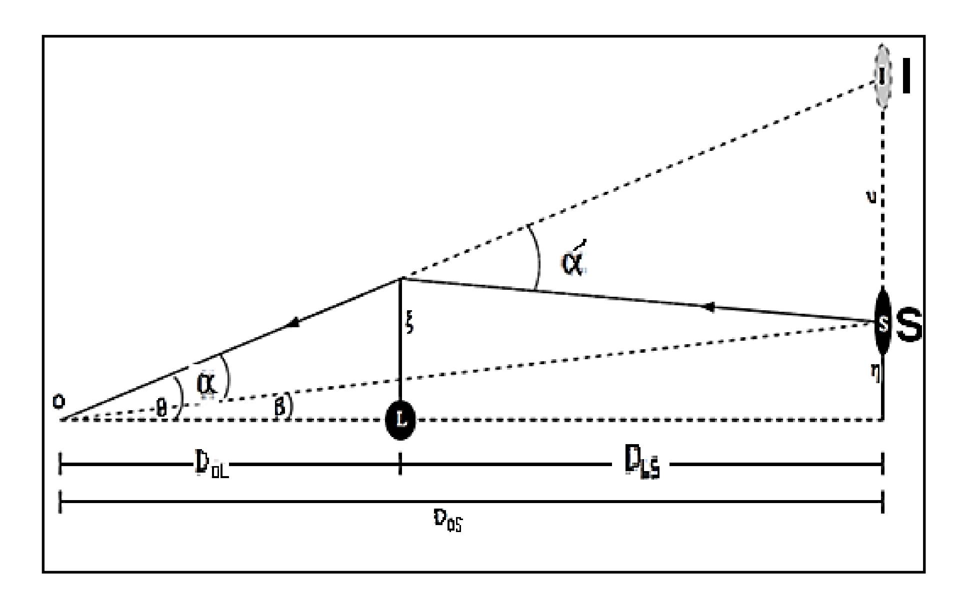
تُعدُّ نماذج العدسات المتناظرة دائريا نماذج (غير واقعية ومثالية) ولا تصف انتشار الكتلة الحقيقي في المجرات والعناقيد المجرية، في حين كان نموذج العدسات البيضوية واصفاً لانتشار الكتلة في المجرات الاهليليجية والعناقيد المجرية (Bak etal 2000)، وهناك نماذج عديدة أخرى تم تطويرها مع زيادة تطبيقات الانحناء الجذبي.



الشكل (2-10) يوضح مجرة (عدسة جذبية بيضوية)

2-8 معادلات العدسات الجذبية النقطية:

يمكن تمثيل التعدس الجذبي بالعلاقات الهندسية الآتية، حيث ان هناك مصدر نقطي S ومراقب o وصورة المصدر I وزاوية التعدس ά وزاوية الانحناء المنخفضة α وزاوية المصدر عن المحور البصري B وزاوية الصورة عن المحور البصري θ وكما في الشكل (2-11)



الشكل (2-11) يوضح الابعاد الهندسية للعدسة الجذبية (Narayan&Bartelman,1997)

في الشكل (2-11) يكون:

$\theta D_{os} = \xi D_{os} + \acute{\alpha} D_{Ls}$ --------------------(50-2)

وبالتعويض عن $\theta = \frac{\xi}{DOL}$ في المعادلة (2-50) نجد ان (anguita, 2009)

$\eta = \frac{Dos}{DoL}\xi - D_{Ls}\acute{\alpha}$ ----------- (51-2)

وحيث ان $DLS\ \acute{\alpha} = Dos\alpha$ وان $\eta = BD_{os}$ وبدلالة الزاوية θ يكون:

$B = \theta - \frac{DLs}{Dos} \times \acute{\alpha}$ -------------- (52-2)

فتكون معادلة العدسة:

$B = \theta - \alpha$--------------------- (53-2)

وهذه المعادلة تربط صورة المصدر بالموقع الحقيقي للمصدر وهي معادلـــة لاخطيـــة

ولذلك يمكن ان يكون لها عدة حلول وعدد هذه الحلول يساوي عدد الصور المضاعفة للمصدر.

9-2 جهد العدسة الجذبية lens potential :

في حالة العدسة النقطية عندما يكون نصف قطر شوارزجايلد Schwarzschild radius

اقل بكثيرمن بعد التأثير ξ ← ξ ‹‹ $\frac{2GM}{C^2}$ تسمى العدسةالجذبية عدسة شوارزجايلد، وباستعمال

معادلة آينشتاين في التعدس الجذبي:

$$\acute{\alpha}= \frac{4MG}{c^2\xi} \text{ ———————— } (12\ -2)$$

وحيث ان $\xi = DoL \times \theta$

والتعويض عن المعادلة (2- 12) في المعادلة (2-52) يمكن الحصول على:

$$B = \theta - \frac{4GM\,D_{LS}}{\xi^2\,D_{OS}} \text{ ---------------------- } (54\,a - 2)$$

وحيث أن: $\xi = \quad _{OL} \times \theta$

فيكون:

$$\beta = \theta - \frac{4GM\,D_{LS}}{\theta C^2 D_{OS} D_{OL}} \text{ ---------------------- } (54\,b - 2)$$

$$B = \theta - \frac{4GM}{\theta C^2}\frac{DLS}{DosDoL} \text{ ----------- } (54\text{-}2)$$

ومن المعادلة (2-53) نجد أن:

$$\alpha = \frac{4GM\,D_{LS}}{\xi C^2\,D_{OS}} \text{ ---------------------- } (55\text{-}2)$$

وحيث ان B=0 عندما يكون المصدر والعدسة على خط واحد يمكننا الحصـــول علـــى الزاوية الحرجة المسماة زاوية حلقة آينشتاين.

فبالتعويض عن قيمة B في المعادلة (54b-2) يكون:

$$O = \theta - \frac{4GM\, D_{LS}}{\theta C^2\, D_{OS}\, D_{OL}}$$

أو أن:

$$\theta^2 = \frac{4GM\, D_{LS}}{C^2\, D_{OS}\, D_{OL}}$$

إذن زاوية حلقة اينشتاين تكون:

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM\, D_{LS}}{C^2\, D_{OS}\, D_{OL}}} \text{ ---------------------- } (56\text{-}2)$$

ويقابل هذه الزاوية نصف قطر حلقة آينشتاين الزاوي:

$$R_E = \theta \times \mathrm{Dol} \quad \sqrt[2]{\frac{4GMDLsDos}{DoL\, C^2}} \text{ ------------ } (57\text{-}2)$$

وهذه الخاصية بالنسبة لمستوي المصدر يمكنها ان تأخذ الصيغة التالية:

$$\sqrt[2]{\frac{4GMDLsDos}{DolC^2}} = Dos \times \theta_E = R_{ES} \text{ ------------------ } (58\text{-}2)$$

وباستعمال زاوية آينشتاين يمكن أعادة كتابة المعادلة (55-2) وكما يلي:

$$\theta^2 - \theta B - \theta^2{}_E = 0 \text{ ---------------- } (59\text{-}2)$$

وحل هذه المعادلة كالأتي:

$$\theta \pm = \frac{1}{2}\left(\frac{B \pm \sqrt{B^2 + 4\theta^2{}_E}}{1}\right) \text{ ------------------ } (60\text{-}2)$$

وهذه الحلول تعطي مواقع صورتي المصدرمتقابلتان تبعدان نفس المسافة عن المحــور البصري، وعندما تكون θ_E ›› B لا يكون هناك انحناء في الاشعة حيث يتطابق موقع المصــدر مع موقع الصورة اما عندما تكون B=0 يكون هناك حل واحد للمعادلة حيث تتشــوه صــورة المصدر حلقة حول العدسة في مستوي الصورة.

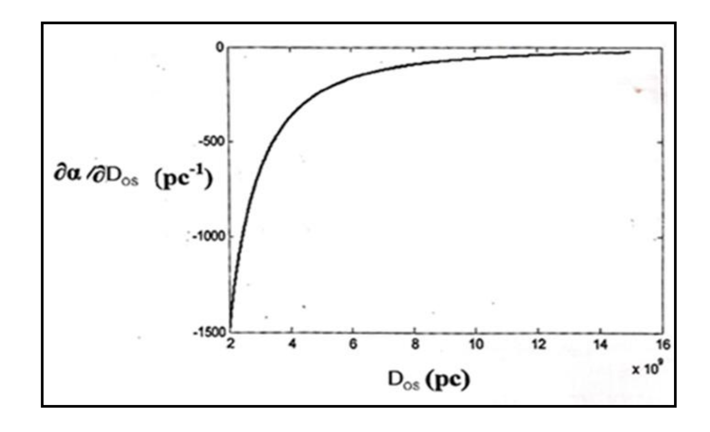
2-10 دراسة تأثير الابعاد الهندسية في العدسة النقطية:

(1) تأثير بعد المصدر Dos في موقع الصورة

الحالة الأولى *عندما يكون* D_{LS} ثابتا وهذا يعني ضمنا ان D_{OL} متغيرة فبأخذ تفاضــل زاويــة الانحناء المنخفضة α بالنسبة لبعد المصدرفي المعادلة (2-55) نحصل على:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial D_{OS}} = -\frac{4GM\ D_{LS}}{D_{OS}^2 \xi C^2} \qquad \text{-------- (2-61)}$$

يتضح من المعادلة (2-61) ان تأثير بعد المصدر تتضائل كلما زاد البعد عن المصدر، ويكون اتجاه تفاضل زاوية الانحناء المنخفضة α معاكسا لاتجاه البعد عن المصــدر (الاشــارة السالبة) وهذا يعني أن بعد المصدر يفقد تأثيره في بعد الصورة عندما يقترب من المالانهاية كما هو موضح في الرسم البياني للمعادلة (2-61) انظر الشكل (2-12).



الشكل (2-12) يوضح علاقة الداله بين بعد المصدر وتفاضل زاوية الانحناء المنخفضة بالنسبة لـــ D_{OS} (وبثبوت المسافة بين المصدر والعدسة الجذبية)[Refsdl and Surdej,1994]

الحالة الثانية : بما أن مسار الضوء من المصدر إلى الراصد يكون ضمن فضاء مسطح (بأستثناء مساره قرب العدسة الذي يكون محدباً ولكنه قصير جدا مقارنة بالمسار الكلي) فأنه بالامكان تعويض ($D_{LS} = D_{OS} - D_{OL}$) في المعادلة (2-55) نحصل على :

$$\alpha = -\frac{4GM}{\xi C^2}\left(1 - \frac{D_{OL}}{D_{OS}}\right) \quad \text{-------------- [2-62]}$$

والتي يتضح منها انه عندما تكون ($D_{OL} \ll D_{OS}$) ترى صورة واحدة يحدد موقعها مقداري الكتلة وبعد التأثير، وتكون زاوية الانحناء المنخفضة مساوية لزاوية الانحناء وتساوي تقريبا θ وذلك لانه في الابعاد الكبيرة للمصدر مقارنة ببعد العدسة تقترب $B \cong O$ وهي تساوي مربع حلقة آينشتاين وهذا يعني الحصول على صورة واحدة على شكل حلقة تحيط بالعدسة عند موقع الانحناء، ولكنها ذات نصف قطر كبير جدا وهذا يبدو واضحا بعد دراسة (Gavazzi etal, 2001) وأكتشافه حلقتين متحدتي المركز أسمى الاولى حلقة أينشتاين الكبيرة وهي المذكورة بالمعادلة [2-62]-- والاخرى أسماها حلقة أينشتاين الصغيرة .

(2) تأثير البعد بين العدسة والراصد (D_{OL}) في بعد الصورة (α)

لمعرفة ذلك نأخذ تفاضل المعادلة [2-55]-- بالنسبة إلى D_{OL}

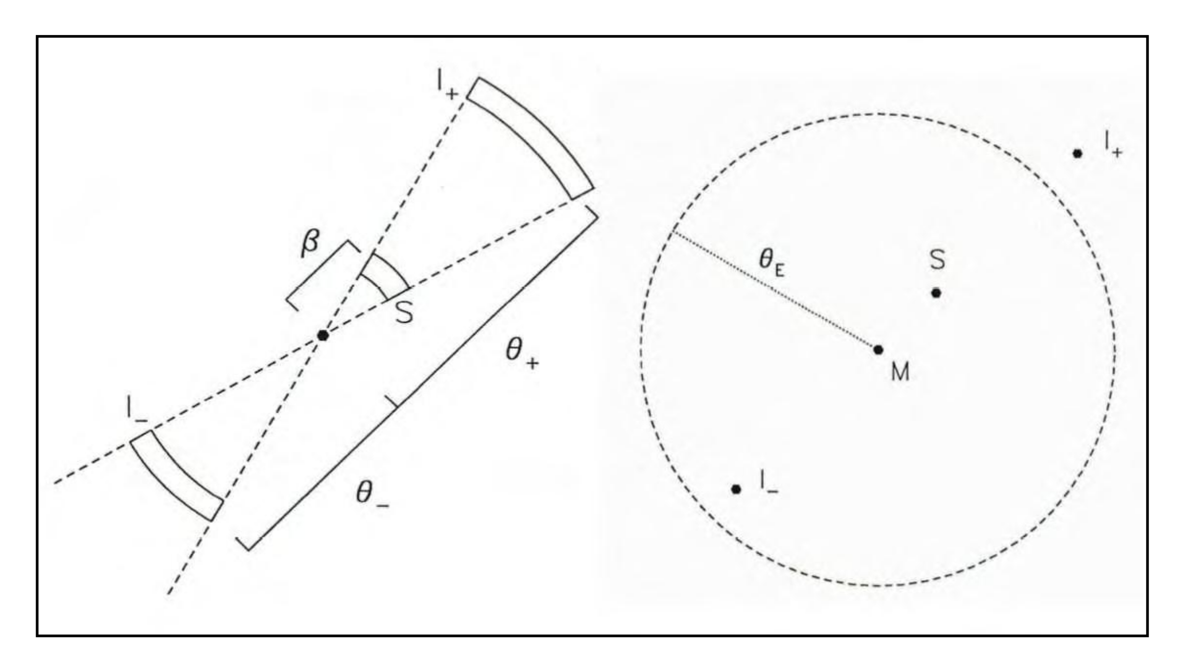
$$\frac{\partial \alpha}{\partial D_{OL}} = -\frac{4GM}{\xi C^2}\frac{1}{D_{Os}} \text{―――――――――(2-63)}$$

نلاحظ انه عند ثبوت (D_{OS}) فإن تأثير بعد العدسة عن الراصد مماثل لتأثير بعد العدسة عن المصدر (D_{LS})، أما عدم تغير تأثير بعد العدسة عن المصدر (D_{LS}) وبعد العدسة عن الراصد (D_{OL}) فيمكن تفسيره على أن تغير موقع المصدر بالنسبة للعدسة لا يحدث تغييراً بزاوية الانحناء، لأن الشعاع الساقط يكون عمودياً على مستوى العدسة فلا يعاني أنكساراً

ولا يغير من زاوية الانحناء، ومن هذا يمكن القول، أن تأثير بعد المصدر عن الراصد هو المسيطر في تغير موقع الصورة (α) عن المصدر.

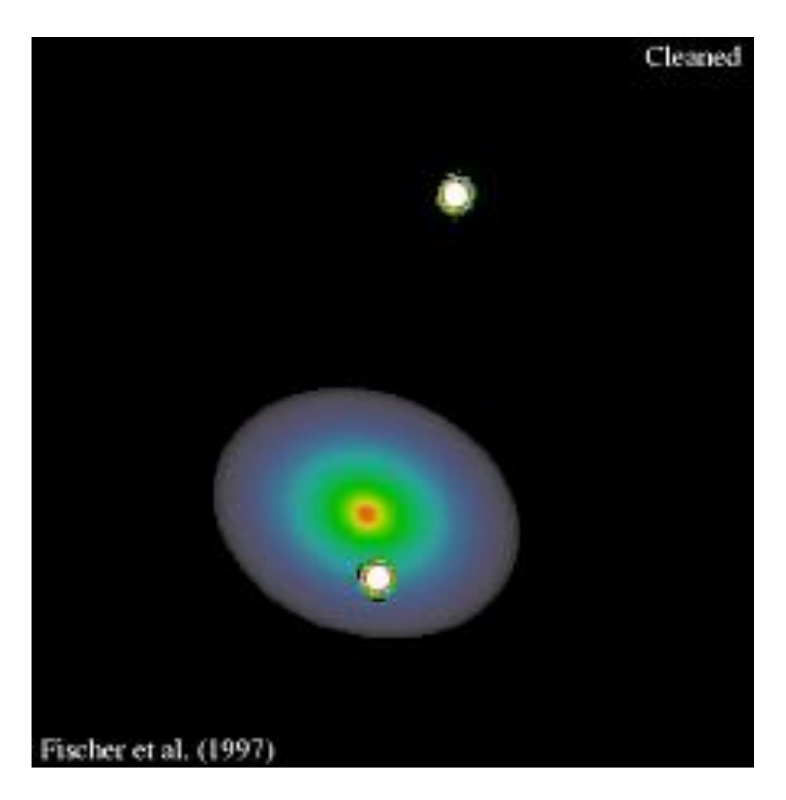
(3) تأثير شكل وكتلة العدسة:

المعني بشكل العدسة هو الابعاد المختلفة بين حافات العدسة ومركزها في جميع الاتجاهات حيث تختلف زوايا الانحناء فعندما يكون الشكل كرويا نحصل على صورتين أحداهما بأتجاه بعد المصدر عن المحور البصري والاخرى بالاتجاه المعاكس كما في الشكل [2-13].



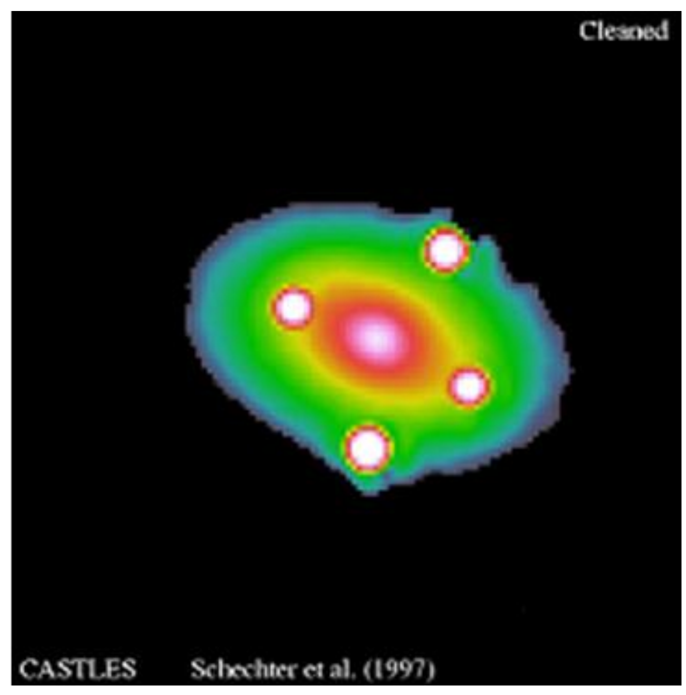
الشكل [2-13] يوضح عندما يكون شكل العدسة الجذبية كرويا نحصل على صورتين أحداهما بأتجاه بعد المصدر عن المحور البصري والاخرى بالاتجاه المعاكس.

وكما مبين في الشكل [2-14]



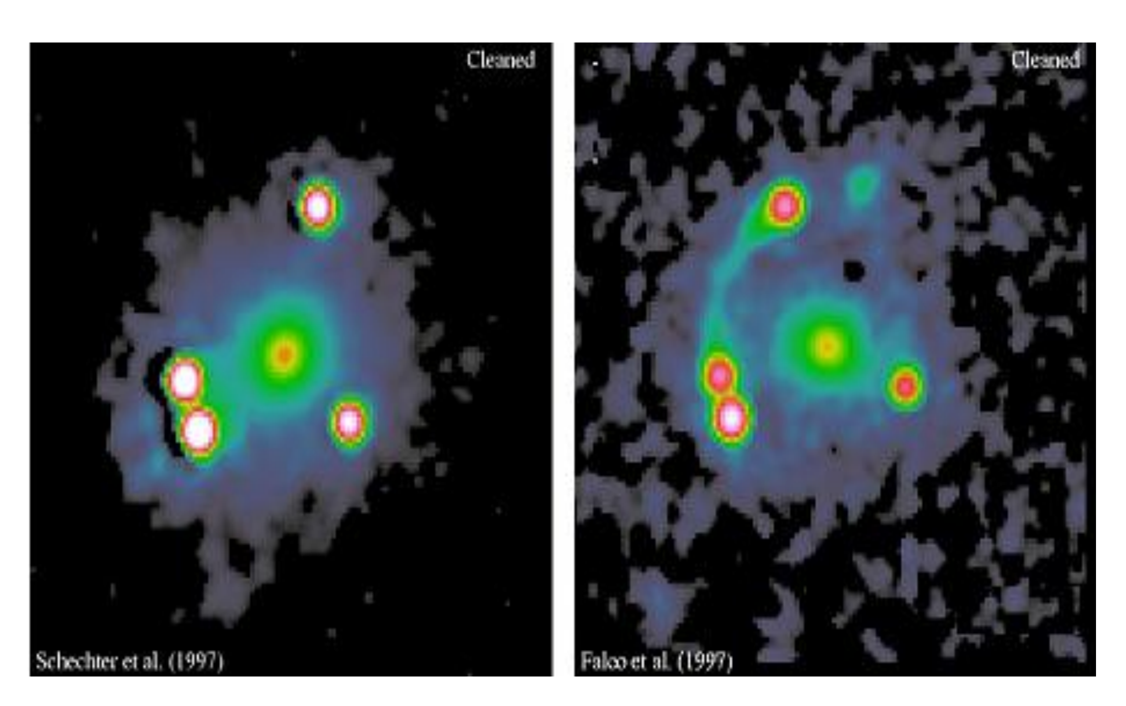
الشكل [2-14] يبين صورتين لمصدر عبر عدسة جذبية كروية ماخوذة بتلسكوب هابل) (Fischer etal,1997)

اما إذا كان شكل العدسة بيضويا فنحصل على اربعة صور تقع على اطراف اقطارها وهذا موضح في الشكل (2-15).



الشكل (2–15) يوضح العدسة الجذبية البيضوية (الصور مأخوذة بتلسكوب هابل) (Schechter etal,1997)

فعندما يكون الراصد والعدسة والمصدر على خط مستقيم واحد تكون الصورة الناتجة عن عدسة كروية على شكل حلقة دائرية، اما إذا كانت العدسة بيضوية الشكل فصورتها الناتجة متمثلة في أربعة صور، في حين انه في حالة العدسة غير المنتظمة الشكل فأن صورها متمثلة بصور مبعثرة كما في الشكل (2−16).



الشكل (2-16) يمثل صور مبعثرة للمصدر عير عدسة جذبية غير منتظمة (Schechter etal,1997)

(4) تأثير بعد التأثير (impact parameter) في بعد الصورة عن المصدر:

لبعد التأثير (ξ) تأثير في موقع الصورة حيث يؤثر مباشرة في زاوية الانحناء الجذبي كما هو ملحوظ في (المعادلة -- 2-55) ولدراسة ذلك نأخذ تفاضل بعد الصورة α بالنسبة لبعد التأثير (المعادلة -- 2-55) فنحصل على [2-64].

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\xi} = -\frac{4GMD_{Ls}}{\xi^2 D_{os}C^2}\frac{\partial\alpha}{\partial\xi} \qquad ----------[64\text{-}2]$$

فنجد ان شدة تأثير ξ (بعد التأثير) مماثل لتأثير بعد المصدر ($\mathbf{D_{os}}$) غير أن مدى تأثيره قصير مقارنة بالابعاد الهندسية حيث انه لا يمكن لبعد التأثير أن يأخذ مقادير كبيرة كالتي يأخذها بعد المصدر لانه سوف لا يحدث انحناء قابلاً للرصد عند المديات البعيدة، ولذلك فـإن تماثـل تأثيره مع تأثير المصدر شكلياً فقط.

11-2 تأثيرات كتلة العدسة في موقع الصور:

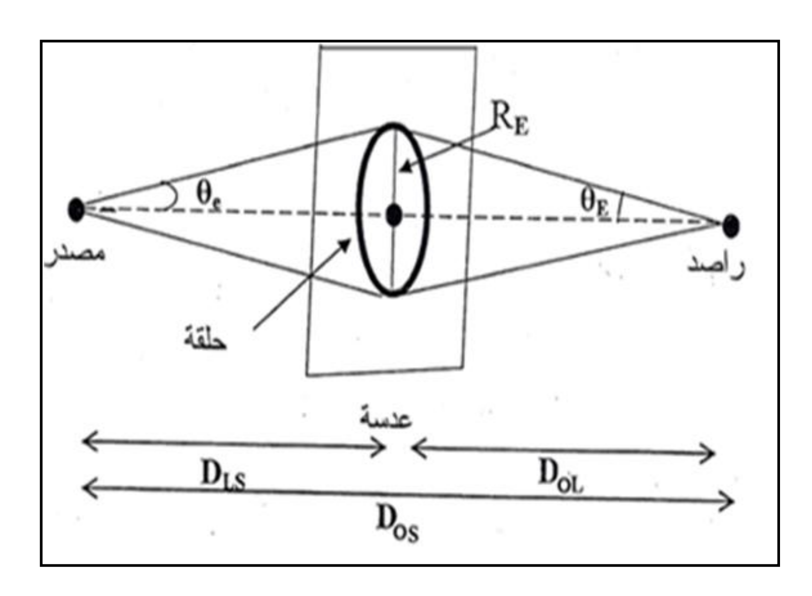
من المعادلة ($\mathbf{2-12}$) نجد ان زيادة الكتلة تؤدي إلى زيادة زاوية الانحناء، كمـا أن الكتل الكبيرة تؤثر في الاشعة البعيدة نسبيا عن سطح الكتلة، وهذا يمنح أمكانية اكبـر لتشـكيل الصور، في حين يقتصر تأثير الكتلة الصغيرة على الاشعة المارة قريبا من سطح الكتلة لانهـا عند هذه الابعاد فقط ستحدث تغيراً ملحوظاً في المسار، كما أن الكتل الصغيرة لاتحدث انحنـاء كبيرا يؤدي إلى تكوين عدد من الصور إلا أنه تحدث تشوهات في الصورة ناجمة عن الانحناء الصغير، لذا يكمن تأثير كتلة العدسة في تأثيرها المباشر على زاوية الانحناء، وبالتالي سـتؤثر في موقع الصور ومقدار تمييزها خلال الارصادات، فمثلا إذا كانت العدسة نجماً فالصور تكون مفصولة بزاوية ($\mathbf{10^{-6}}$) ثانية قوسية $\boldsymbol{arcsec}$ ، أما إذا كانت مجرة فستكون الفاصلة بحدود (1−10) ثانية قوسية بينما فاصلة عدسة العنقود المجري تكون بحدود (10-30) ثانية قوسية.

12-2 نصف قطر حلقة آينشتاين:

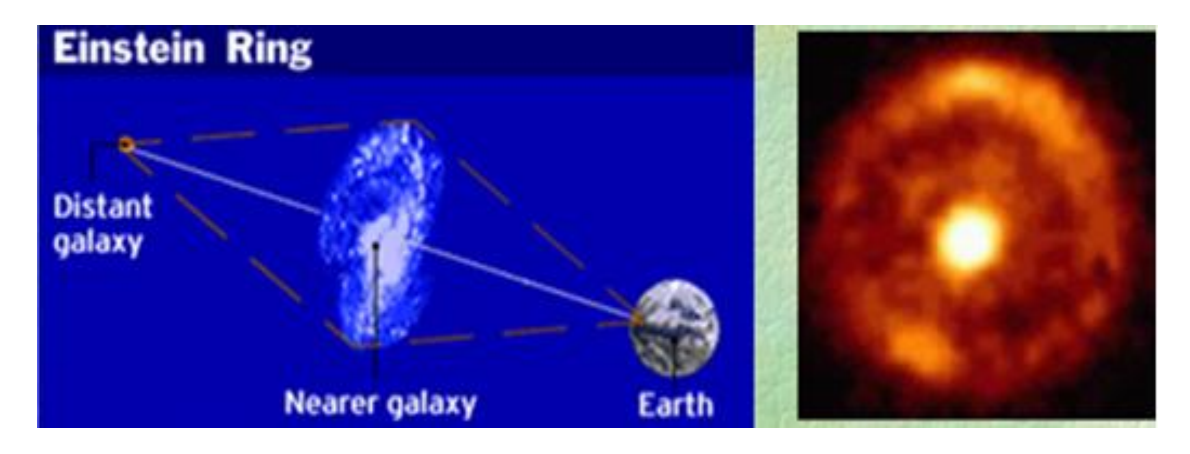
يعد نصف قطر آينشتاين خاصية من خواص العدسة إذ ان لكل عدسـة نصـف قطـر آينشتاين خاص بها ،يعتمد مقداره على كتلة العدسة وأبعادها الهندسـية .فـاذا كانـت العدسـة متناظرة فمن معادلة العدسات بدلالة الابعاد الهندسية.

$$B=\theta-\frac{4GM(\theta)D_{Ls}}{D_{ol}D_{os}C^{2}\theta} \quad \text{-----------------} \quad (64\text{-}2)$$

اما إذا كان المصدر واقعا على المحور البصري أي أن (B=0) فالراصد والعدسة والمصدر على خط مستقيم، عند ذاك تكون الصورة على شكل حلقة دائرية ذات نصف قطر زاوي (θ_E) لاحظ المعادلة (2-56) والشكل [2-17].



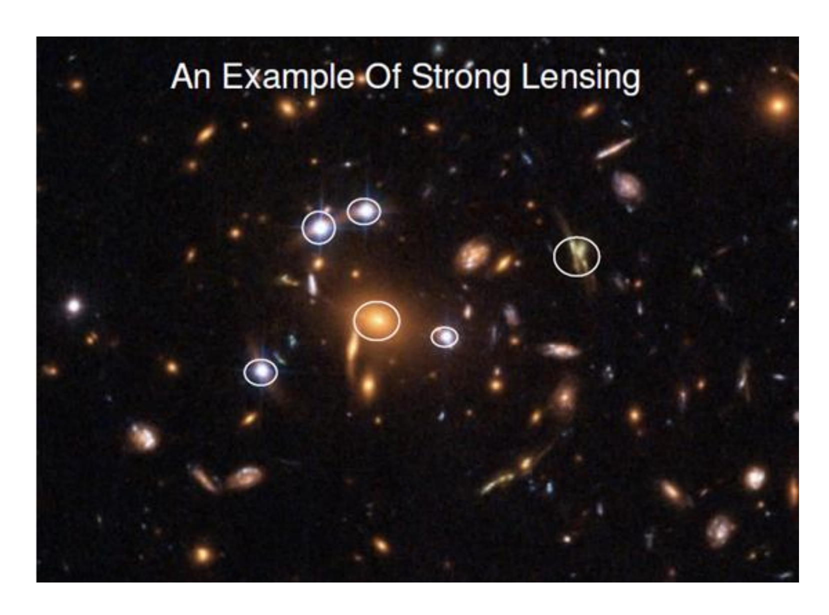
الشكل (2-17) توضيح تكون الصورة على شكل حلقة دائرية ذات نصف قطر زاوي E وتسمى بحلقة آينشتاين



الشكل (2-18) الشق الايمن صورة مأخوذة من تلسكوب هابل والشق الايسر رسم توضيحي للمجرة (القريبة بالقياسات الفلكية) من الراصد (ممثلةعدسة جذبية) وتسمى بحلقة آينشتاين ويسمى نصف القطر الزاوي لهذه الحلقة بنصف قطرحلقة أينشتاين الزاوي.

13-2 التعدس الجذبي بدلالة زاوية الانحناء:

(1) التعدس الجذبي القوي: أنظر الشكل (2-19).



الشكل (2-19) يوضح التعدس الجذبي القوي(تعدد الصور واقواس وتشوهات كبيرة)

إن (Walsh etal,1979) أول من اكتشف العدسة الجذبية الناتجة عن الانحناء القوي والذي يفيد في حساب كتل وانصاف اقطار قلوب العناقيد المجرية وحساب ثابت هابل والدراسة الاحصائية لحالات التعدس القوي تستعمل في البحث عن المادة المعتمة في الكون (Grossman&Narayan,1989) ويمكن لعدسات العناقيد المجرية ان تكون تلسكوباً كونياً نشاهد به أجساماً بعيدة جداً (Schneider,1995).

(2) التعدس الجذبي الضعيف:

التعدس الجذبي الضعيف هو انحناء مسار الاشعة بزاوية صغيرة بحيث أنه لا يمكن الكشف عنه إلا باستخدام دراسة أحصائية للارصادات بتعاقب الازمان، ويحدث في الحالات التي تكون فيها العدسة كوازر والمصدر عنقود مجري (Kaiser, etal 1995). أو تكون العدسات والمصادر مجرات ويلاحظ هذا الانحناء في المناطق الخارجية للعنقود المجري، لأن أي توزيع

غير متجانس للمادة ما بين الراصد والمصدر البعيد سيؤثر في الموقع الزاوي للمصـــدر وفـــي سطوعه الظاهري (Gunn, 1967)، ويمكن الكشف عن التعدس الضعيف باســتعمال التحليــل الاحصائي فقط بدراسة مليون مجرة أو اكثر والتعدس الضعيف ينتج صورا مفردة قليلة التشويه، وهذه الخاصية تساعد في فهم التوزيع الكتلي للعناقيد المجرية، وأن اول مـــن أكتشــف وجــود الصور ذات التشويه القليل وعدها ناتجة عن تعدس جذبي ضعيف هو [Tyson etal, 1990] ، ويستفاد من التعدس الجذبي الضعيف في حساب انتشار الكتلــة الســطحية للعناقيــد المجريــة [Kayser&Squires, 1993] ورسم خرائط التوزيعــات الكتليــة فــي العناقيــد المجريــة (Waerbeke&Mellier, 1996)، كما يمكن استخدامه لأعادة دراسة البناء للكتــل العنقوديــة (Wambsganss,2001)، وللكشف عن المادة المعتمــة كمــا اســتخدم التعــدس الضــعيف (Erik etal ,2008) بوصفه متحسسا للطاقة المعتمة، كما يعد التعدس الضعيف من أهم الأدلة على كون الكون معجلا (Frieman etal ,2008).

(3) التعدس الجذبي الدقيق:

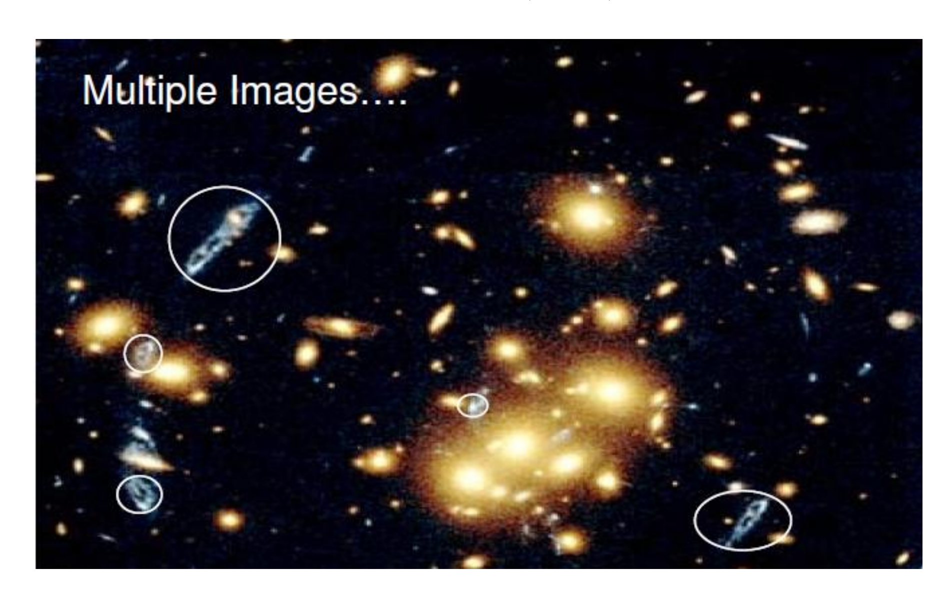
التعدس الجذبي الدقيق هو ناشىء عن إنحناء قوي للاشعة، غير أن المسافة التي تفصل الصور صغيرة جدا حوالي مايكروثانية قوسية [microarcsecond] ، لذا لا يمكــن مشــاهدته مباشرة (Paczynski, 1996) ولكن يتم الكشف عن وجوده عن طريق التغيير الحاصل *ضمن فترة زمنية* للفيض القادم من النجوم الذي يظهر في منحنياتها الضوئية فقد تنبأ Paczynski عام 1986 بأنه من الممكن أكتشاف أن الاجسام المركزة أو المضغوطة [MACHO] تعمل بوصفها عدسات دقيقــة، ومــن مراقبــة مليــون نجــم موجــود فــي المجــرة المجــاورة لمجرتنــا LMC Large maglanic cloud سحابة ماجلان الكبيرة، ومن ملاحظة لمعان هذه النجــوم

سنرى تغيرات في بعضها بسبب حقيقة أن هذه الاجسام المضغوطة والموجودة في الهالة تمــر بين الحين والآخر من أمام النجم .فتؤدي إلى حدوث تكبير في سطوعه، والمشكلة العملية هــي قلة احتمالية حدوث مثل هذه التغيرات، حيث أن واحدة من ثلاثة ملايين من النجوم الموجودة في الLMC سوف تكبر بشكل ملحوظ في اي وقت كان، وهذا مما دعا إلى عمل جمــاعي علــى شكل مجموعات من الفيزيائيين والفلكيين، فظهرت نتائج بحثهم الاولى في أكتشــافات التعــدس الجذبي الدقيق (Udalski etal, 1993) و(Aubourg, 1993).

وإذا استمر اكتشاف احــداث تعــدس جــذبي دقيــق بشــكل كــافٍ، فانــه ســيكون ممكننـــا رســم خــرائط لتوزيــع الكتــل النجميــة الموجــودة فــي مجرتنــا درب التبانــه (Narayan&Bartelman, 1997) بعد ذلك ظهرت مجموعات بحثية جديدة ركزت عملها من اجل أكتشاف كواكب خارج مجموعتنا الشمسية، فقد تم التأكيد على اكتشــاف لكواكــب بحجــم الأرض خــــارج المجموعــــة الشمســـية (mcclelland,2008)، وقــــد قــــام (Bunker&Ignace,2008) بدراســـة مصـــادر التعـــدس عـــن طريـــق التعـــدس الجذبي الدقيق ورســم هيئة غلاف المصدر مــن دراســــة اطيافــه المختلفــة، واكتشــف [Sullivan etal, 2008] ثمانية أحداث تعدس جذبي دقيق محتملة وذلك باســتخدام تلســكوب نيوتن ورصد 50000 متغير.

14-2 التعدس الجذبي بدلالة عدد وأشكال صور المصدر:

(1) الصور المتعددة: أنظر الشكل (2-20).



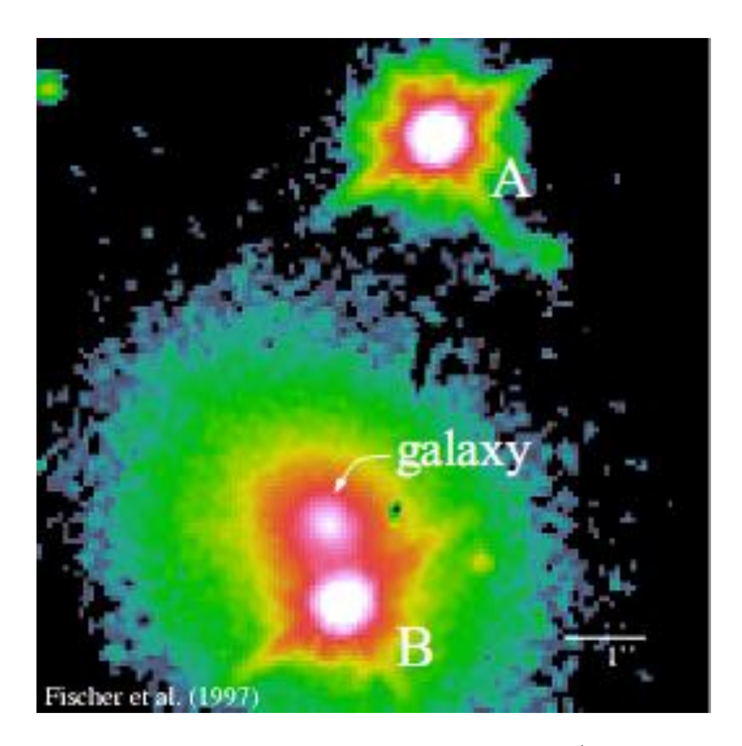
الشكل (2-20) يظهر فيه صور متعددة لمصدر (Winn etal ,2003)

تصنف العدسات الجذبية حسب صور المصدر التي تظهر إلى :

1. عدسات ثنائية : إذ تظهر العدسة وعلى طرفيها صورتان مثال ذلك كما في الشكل (2-21) والجدول (2-1) بعض العدسات الثنائية التي تم اكتشافها مع ذكر الزحزحة الحمـراء للمصـدر والعدسة.

جدول (2-1) العدسات ثنائية الصور

الباحثون	الزحزحة الحمراء للعدسة Z_L	الزحزحة الحمراء للمصدر Z_S	اسم العدسة
Walsh etal,1979	0.36	1.4	Qso0957+561
Claeskens,1996	------	2.55	Q1017-207
Oguri etal,2004	-----	1.838	SDSS J100128.61+502756.9

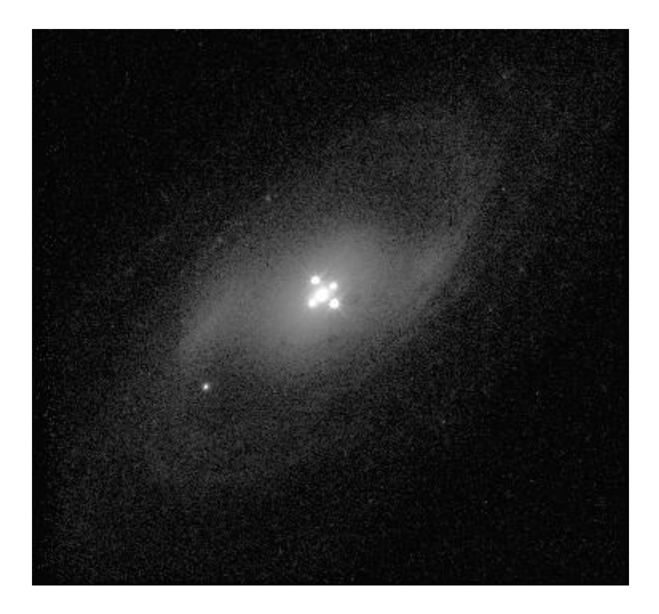


الشكل (2-21) يمثل صورة مأخوذه من تلسكوب هابل تظهر فيه صورتا الكوازر 0957+561 عبر مجرة عدسة جذبية (ثنائية الصور)

(Fischer etal,1997) (Chang etal, 1979)

2 عدسات رباعية : إذ تظهر العدسة محاطة بأربع صور تكون على الأغلب بشكل تقاطع، وقد عرض الجدول (2–2) بعض العدسات الرباعية التي تم اكتشافها مع ذكر الزحزحـــة الحمـــراء للمصدر والعدسة، وعرض صورة فوتوغرافية في الشكل (2-22) لمصدر عبرعدسة من هـــذه العدسات.

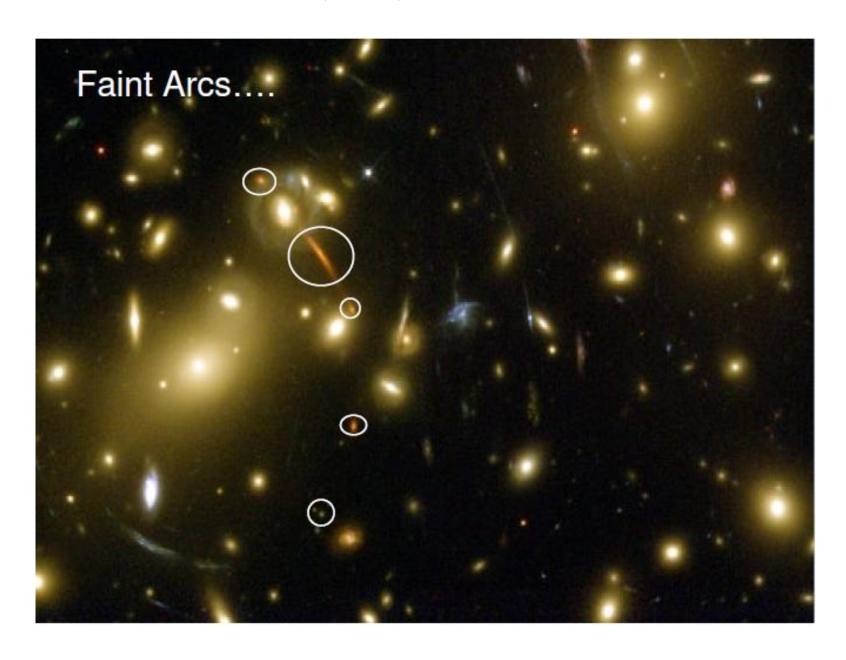
الباحثون	الزحزحة الحمراء للعدسة Z_L	الزحزحة الحمراء للمصدر Z_S	اسم العدسة
Weymann etal,1980	0.29	1.72	Q1115+080
Huchra etal,1985	0.04	1.69	Q2237+0305
Magain etal,1992	1.4,1.7	2.55	Q1413+117
Hewitt etal,1989	1	2.63	Q 0414+0534
Patnaik etal,1992	0.64	13.62	Q1422+231



الشكل (2-22) صور للكوازر Q 2237+0305 عبرعدسة جذبية (عدسة رباعيـــة الصـــور) (Mosquera, A. etal, (2009))، وهنـــاك مـــن اكتشـــف ثلاثـــة صـــور للكـــوازر (Chartas, G eta l, 1984) AGN2016+112(h)

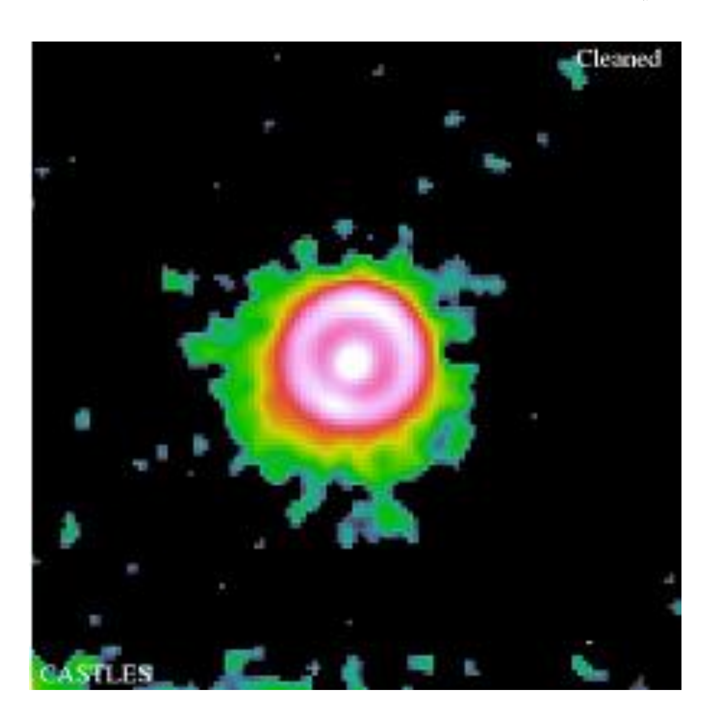
(2) الاقواس :

تظهر العدسة محاطة بأقواس متفرقة كبيـــرة أو صـــغيرة والشـــكل (2-32) يوضـــح صـــوراً فوتوغرافية لبعض من هذه العدسات أنظر الشكل (2-23).



الشكل (2-23) تظهر فيه صور مصادر مشوهة على شكل اقواس (Tyson et al. 1990)

(3) الحلقات : كما في الشكل (2−24).



الشكل (2- 24) يظهر فيه حلقة هي صورة لمصدر باستخدام تلسكوب هابل تظهر العدسة محاطة بحلقة أو حلقتين (Schechter etal,1997)

وفي التاسع من شهر شباط 2008 أعلن الفلكيون في وكالة الفضاء الامريكية NASA والاوربية ESA مستخدمين تلسكوب هبل الفضائي عن جمع دليل (كتلوك) كبير من العدسات الجذبية الجديدة في الكون البعيد .يحتوي هذا الكتلوك على (67) صورة لعدسات جذبية جديدة وجدت حول مجرات بيضوية (أهليليجية) يظهر هذا الكتلوك التنوع الكثير للعدسات الجذبية القوية.

15-2 أستعمال ظاهرة التعدس الجذبي في البحث عن المادة المعتمة:

مع أن هناك دليل قوي على وجودالمادة المعتمة كمكوّن رئيسي للكـــونِ، ولكـــن أكثـــر سمات هذه المادة غامضة جداً، نحن لا نَعْرفُ ما هي المادة المعتمة، ولا شكل توزيعهـــا فـــي مجرتِنا، فقبل عقود مضت ظهرت فـــي الفكـــر الفيزيـــائي الحاجـــة إلـــى إفتـــراض مكـــون فعال للكـــون البـــدائي بمـــا أن المـــادة المعتمـــة لـــم تكشـــف بـــالمعنى التقليـــدي للكشـــف not detectable with conventional technology لكونها لا تبعث أشعاع أو ضوء لـــذا بحث الفيزيائيون عن سلوكها عبر الاشياء التي بقربها (Fahlman ,1994).

وهناك أدلة على وجود المادة المعتمة:

[1] سرعة المجرات في العناقيد المجرية:يعد هذا الدليل أضعف الأدلة وأقدمها، وهـــو يـــرتبط بدراسة حركة المجرات داخل العناقيد المجرية (والتي هي عبارة عن تجمع لعدة مئات إلى عدة آلاف من المجرات المعزولة في الفضاء).

في الثلاثينيات من القرن الماضي درسFritz Zwicky و Smith عنقودين متجاورين (comma و fergo) ودرسا المجرات المفردة التي تكوّن العنقـــودين المجـــريين وســـرعاتها، ووجدا أن سرعات المجرات تفوق توقعاتهما بعشرة مرات إلى مائة مرة، وهذا دليـــل علـــى أن الجاذبية بين تلك المجرات وداخل العنقود كبيرة والجاذبية (التي تعد القوة الوحيدة التي تهمنا عند دراسة العناقيد المجرية) تزيد كلما زادت الكتلة داخل العنقود، وكذلك فـــإن دراســـة ســـرعات الجرات يعطي أنطباعا عن الكتلة الكلية داخل العنقود بطريقتين الاولى: أنه كلما زادت الكتلـــة داخل العنقود كلما زاد مقدار قوة الجاذبية المؤثرة في كل مجرة، وهي التي بدورها تزيـــد مـــن تسارع المجرات إلى سرعات عالية.

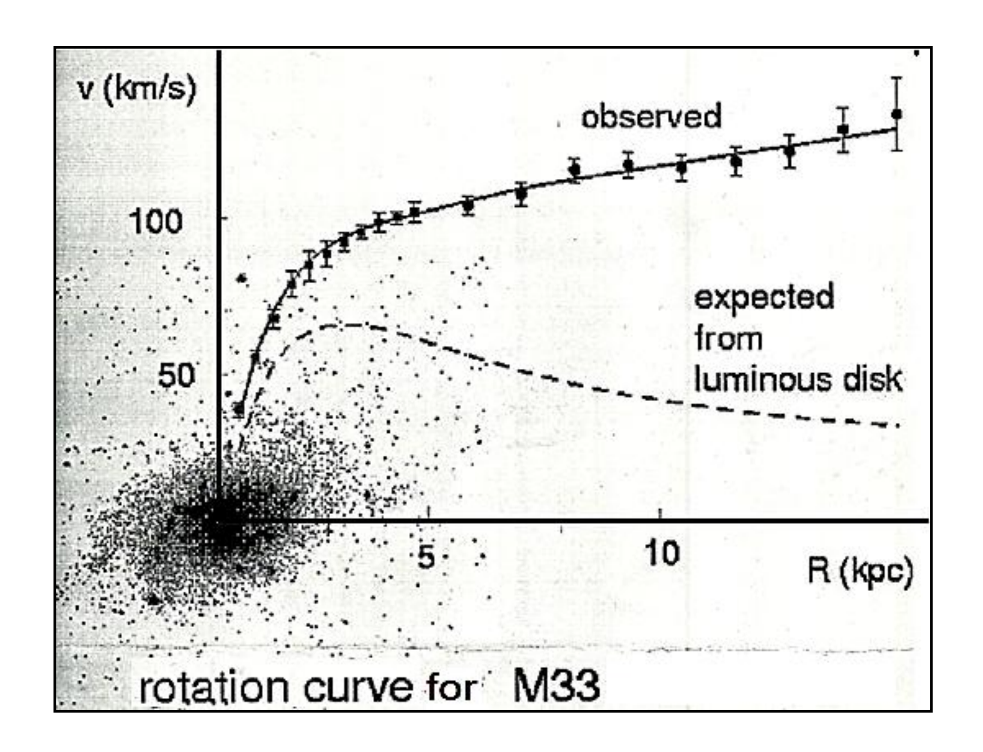
اما الطريقة الثانية التي تدلنا بها السرعات إلى مقدار الكتلة الكلية داخل العنقود المجري فهي تتلخص فيما يلي: إذا ما كانت سرعة مجرة ما كبيرة جداً، فإن المجرة ستكون قادرة على كسر الرابطة الجاذبة للعنقود المجري أي، إذا كانت سرعة المجرة أكبر من سرعة تسمى (سرعة الهروب) فإن المجرة سوف تترك العنقود المجري، وبمعرفة أن كل المجرات تملك سرعات أقل من سرعة الهروب يكون بالامكان تخمين الكتلة الكلية، وبناءاً على السرعات التي رصدت فإن الكتلة الكلية أكبر بكثير مما تفرضه الفرضيات التي تستند على حساب كتل المواد الظاهرة أو القابلة للرصد، مما يعني أنه توجد كتلة لم تؤخذ في الحسبان (مادة معتمة) ولو أننا أعدنا التفكير فيما حدث سابقاً فإن الدليل شبه القوي (أي امتلاك المجرات لسرعات أكبر من التوقعات المفترضة) لم يتم تقييمه بشكل دقيق، فتلك الملاحظات الرصدية يمكن ان تفسر بشكل آخر، فعندما ننظر إلى شيء واسع وضخم كالعنقود المجري، فسرعة المجرات وان كانت كبيرة إلى حد ما فأنه لا مجال لمقارنتها مع التوسع الهائل للعنقود، لذا وأن تمت مراقبة العنقود على مدى سنوات عديدة فأن ذلك لا يعطي شيئا سوى الصورة الساكنة للعنقود، لذلك فإننا لا نستطيع أن نرى المجرات يتزاحم بعضها حول بعض. وربما أن بعض المجرات الأخرى كانت مجرد" مجرات في المقدمة " أي تقع أمام العنقود المجري على خط الرؤية بالنسبة لنا، وفي هذه الحالة تكون بيانات السرعة لتلك المجرات مجرد مضللات، وعليه فإن هذا الدليل وإن اعطى تلميحا على وجود كتلة (مادة) لا نعرفها، إلا أنه ليس دليلا قاطعا .(Fischer etal ,1997).

الدليل الثاني والاقوى : منحنيات دوران المجرات

ظهر هذا الدليل في السبعينيات من القرن الماضي، عندما بدأ بعض الفيزيائيين بقياس منحنيات الدوران للمجرات ،وهو دليل أقوى لانه يقدم بيانات موثوقا بها (Auburg etal 1993). كما يمكن اخضاعه للكثير من المجرات، ومن المعروف أن المجرات

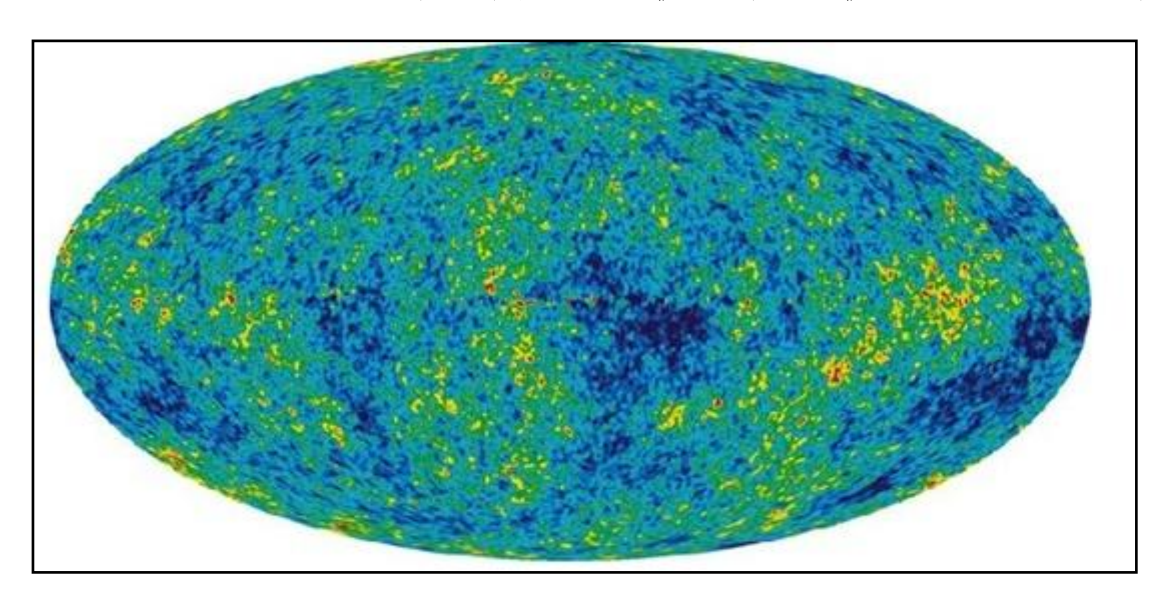
تدور حول مراكزها، بشكل قريب من دوران الكواكب حول الشمس، وهو يخضع لقوانين كبلر للدوران حول المركز (والتي تنص على ان السرعة الدورانية حول المركز تعتمد فقط على البعد عن المركز، وعلى الكتلة الكلية المحتواة ضمن المدار). لذا فإنه بايجاد السرعات الدورانية على طول المجرة، يكون بامكاننا أن نحسب كتلة المجرة التي تقع داخل المدار، ولأننا كلما مضـــينا على طول طرف المجرة مبتعدين عن المركز، وعلى هذا نتوقع ان السرعات الدورانية تـــنقص ولكن ذلك لا يحدث، لأن السرعات الدورانية تبقى عالية وفوق ما يمكن توقعه وهذا مـــا يشـــير بقوة إلى وجود قدر عظيم من الكتلة في المجرة ليس بالامكان رؤيته. لقد ثبت هذا للعديـــد مـــن المجرات التي تشبه مجرتنا (Koo ,1987) مع النتائج نفسها.

ولذلك يكون هذا الدليل هو الأقوى على وجود المادة المعتمة التي تتخلل المجرات لاحظ الشكل (2-25).



الشكل رقم (2-25) يبين العلاقة بين المسافة إلى مركز المجرة والسرعة الدورانية للمجـــرة، واما الخط الموصول فهو ما يشاهد واقعيا، مما يدل على وجود كتلة لم تؤخذ في الحســـبان (Gerhard etal , 2001).

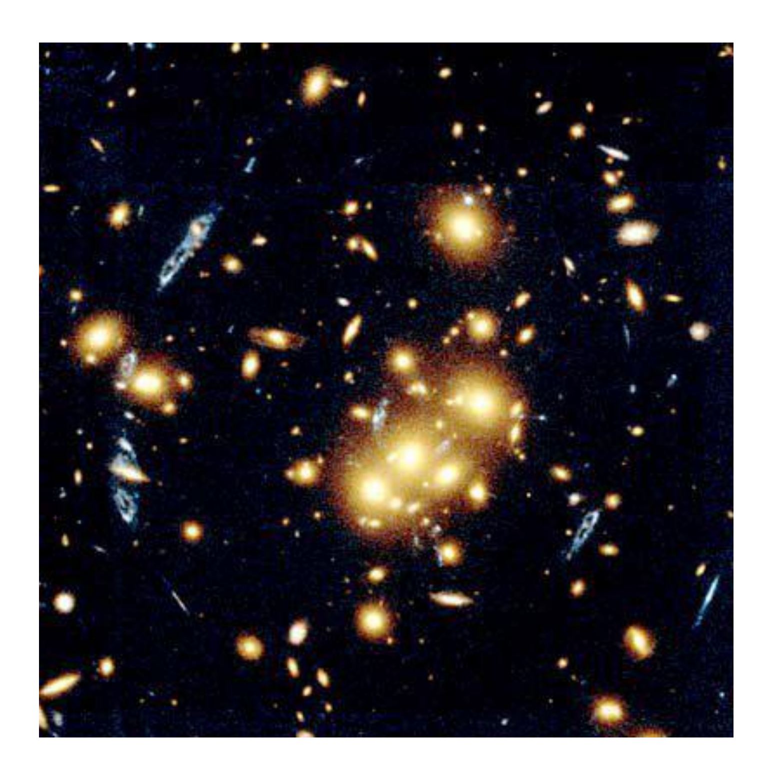
الدليل الثالث: نتائج رصد الأشعاع الخلفي الكوني المايكروي وهذا يعني أن الضوء الذي نرصده في الكون حالياً (وهو الضوء الذي تبقى ولم يتفاعل مع المادة) منذ بدايات تشكل الكـــون قبـــل مليارات السنين على الأقل فهو يعطي للفيزيائيين تصوراً عن شكل الكون في الماضي الســحيق (أي كانه صورة للكون في بداياته) كما في الشكل رقم (2-26).



الشكل رقم (2-26) الاشعاع الخلفي الكوني
(cosmic microwave background radiation)

عند دراسة توزيع الحرارة في الشكل (2-26) يتبين أنه توجد اختلافات طفيفة في درجة حرارة الإشعاع الكوني في مختلف الاتجاهات. وهذا الاختلاف الطفيف هوالسبب في نشوء البنية الكونية التي نراها اليوم من مجرات، وعناقيد مجرية و نجوم و غيرها، و لكن التذبذب الطفيف المرصود في إشعاع الخلفية غير كاف لنشوء و تكون تلك البنية، إن افتراض وجود مادة مظلمة مطلوب لكي يسمح لقوة الجاذبية أن تزيد، و بالتالي أن يزيد ذلك التذبذب في درجـــة الحـــرارة وبالتالي نشوء تلك البنى.

الدليل الرابع : ظاهرة التعدس الجذبي للضوء: إن طريقة الاستدلال على وجود مادة معتمة هو أن الكتلة الظاهرة للتجمعات المجرية المتسببة في انحناء الضوء غير كافية لحرف الضوء ليظهر بالشكل المرئي في تلك الصور، بل ينبغي وجود كتلة أكبر بكثير، و بناء علـــى ذلـــك فـــإن هذه الظاهرة دليل على وجود مادة معتمة في تلك المنطقة، تزيد من كتلة تلـــك المجـــرة أو العنقـــود المجري، وبالتالي تؤدي إلى مثل تلك الانحناءات الضوئية المشاهدة انظر الشكل (2-27) والشكل (2-28).

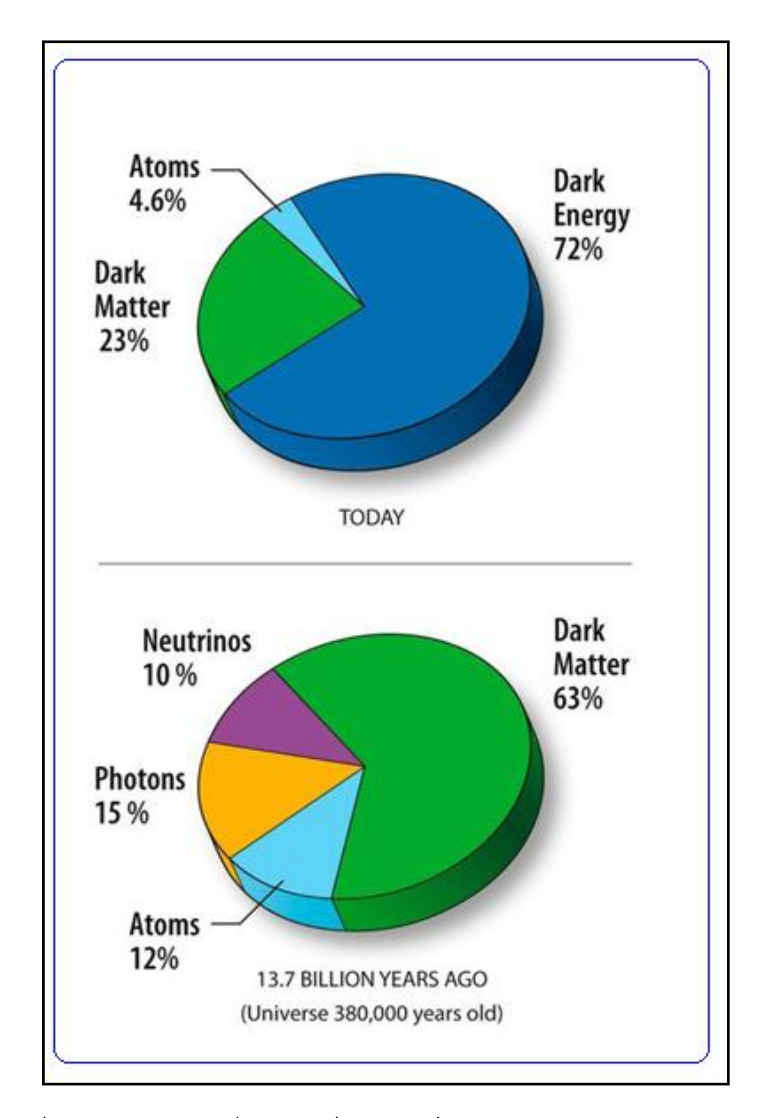


الشكل رقم (2-27) يتضح فيه البقع الصفراء المتكررة وهي عبارة عن صورة للكوازار نفسه ظهرت بهذا الشكل بسبب ظاهرة الانحناء الجذبي.

2-15-1 كيفية تحديد كمية المادة المعتمة في الكون:

بما أن $\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$ (حيث ان ρ_c هي الكثافة الحرجة المطلوبة لتحدب الزمكان و ρ كثافـــة الكـــون فـــإن نســـبة المـــادة المرئيـــة فـــي كوننـــا تقـــدر بـــــ $\Omega = 0.05$ وإن Ω هـــي (normalized density)، وهو رقم صغير جداً ففي الفيزياء الكونية لكون مستقر تكون قيمـــة

Ω = 1 وذلك لوجود تصديق قوي بأن كوننا هو كون مسطح بناء على البيانات المتــوفرة مــن الإشعاع الخلفي الكوني (Newberg, H., Couch, W., 1999) وهذا يعني أن كُلاً من الطاقة المادة المعتمة تشكل ما تبقى من الكون 0.95= Ω و كما في الشكل رقم (2-28).



الشكل (2-28) يوضح توزيع المادة المعتمة والطاقة المعتمة والمادة المرئية في العهد الحالي و الماضي السحيق.

إن البحث عن المادة المعتمة في مجرتنا أو المجرات القريبة يعتمد بشكل كبيــر علــى التعدس الجذبي بوصفه وسيلة للكشف عنها، وذلك لعدة أسباب منها أنه باستعمال التعدس الجذبي يمكن تعيين كتل المجرات وعناقيد المجرات، حيث ان التعدس الجذبي دليل ومؤشر على كُلاً من

المادة الكلية والمادة المعتمة فتحديد زاوية الانحناء التي تسببها القوة الجذبية (في نموذج العدسة الجذبية النقطية) يكون بتحديد المجال الجذبي(الذي يعتمد اساسا على التوزيع الكتلي للمادة) فمن نظرية النسبية العامة ومن معرفة التوزيع الكتلي للمادة يمكن استقصاء كميـــة المـــادة المعتمـــة الموجودة، وفي عام 1986 رشح التعدس الجذبي الدقيق للكشف عن (MACHOS) في الهالـــة المجرية بمراقبة النجوم في غيمة ماجلان الكبيـــرة والصـــغيرة (Larg magelanic cloud, LMC) (Small magelanic cloud, SMC).

إن الأشياء الموجودة في هالة درب التبانة مثل الاقزام السمراء أو الثقوب السوداء، من الممكن أن تسبب تعدس جذبي دقيق لنجم بعيد فيزداد ويخفت لمعانه، إذا كانت هذه الاجرام على خط مستقيم مع موقع المشاهد لنجم بعيد (في الحسابات الفلكية) على نفس الخط فـــأن اللمعـــان يزداد عند الأتساق، والـــ MACHOS كانت المتوقعة لتعتبـــر قســـم مـــن المـــادة المعتمـــة (Kayser&Squires, 1993)، فهي لا يمكن الكشف عن وجودها مـــا لـــم تحســـب علاقتهـــا التفاعلية مع اجسام اخرى (Paczynski, 1996)، ففي عام1986 اقتـــرح Paezynski انـــه للكشف عن المادة المعتمة يتوجب أن تكون الارصادات الفلكية مستمرة لنجوم سحابة مـــاجلان الكبيرة Large Magelanic Cloud (LMC) ونجد ان الكثير من الباحثين أهتم باثبات وجود المادة المعتمة وتخمين كميتها وذلك لأهمية وجود المادة المعتمة حيث إنه بدونها يصـــبح مـــن الصعب تفسير تباعد الكون، (Kowalski, 2007)، (Mukherjee, 2005).

16-2 المساطر الكونية:

وقد ظهرت (منذ أن بدأت الابحاث الكونية) الحاجة إلى وجود مسطرة يقاس من خلالها الابعاد الكونية المختلفة فأنبرى الباحثون في صناعة مسطرة كونية بوحدات قياس مختلفة ومن أحدث المساطر المصنعة في هذا المجال، ما صنعته الباحثة Danuta Paraficz في (Paraficz1. Hjorth1,2009)

ففي دراستها لعلاقة الدالة $\frac{\Delta}{\sigma^2}$ مقابل ZL لاحظ الشكل (3-4) الذي يتبين فيه

اولا دالة $\Delta\mathbf{T}$ مقابل ZL

ثانيا دالة $\frac{1}{\sigma^2}$ مقابل ZL

ثالثا دالة $\frac{\Delta\mathbf{T}}{\sigma^2}$ مقابل ZL (تغير الدالة أكثر انعطافا من أولاً وثانياً مما مكن الباحثين من اتخاذها مسطرة كونية كبيرة في حسابات الابعاد الكونية)

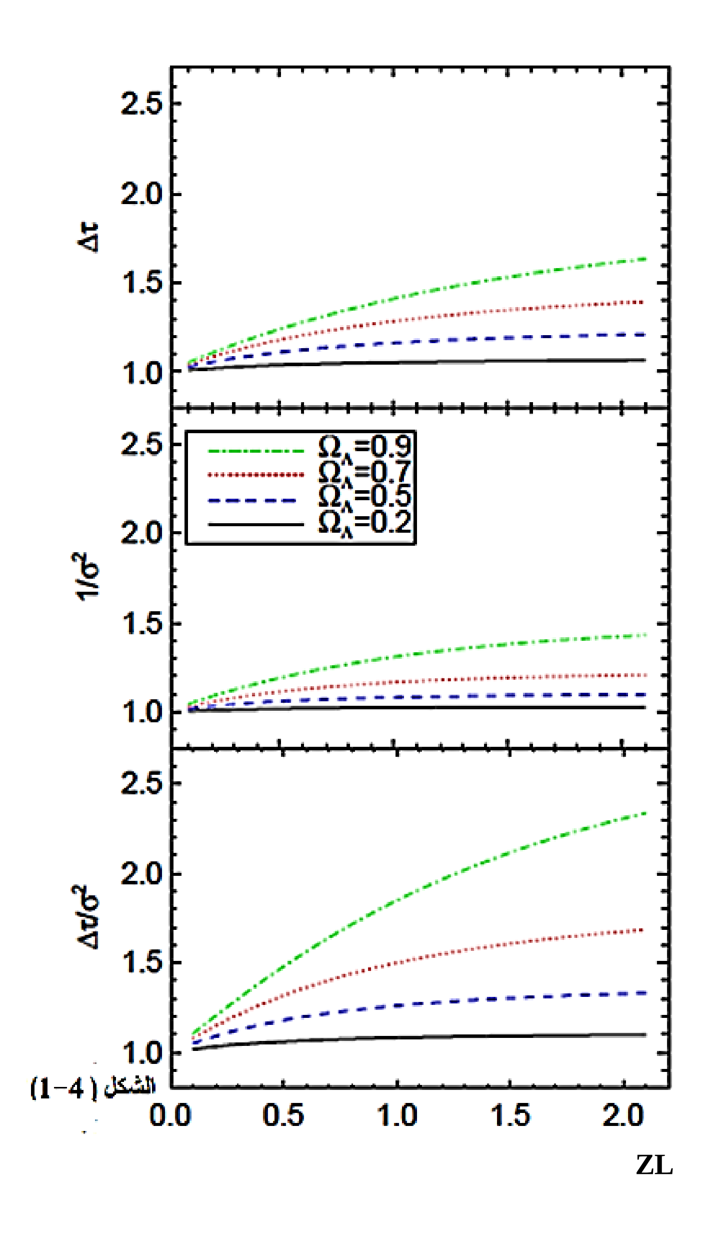
حيث ان σ هي سرعة الانتشار.

ZL هي زحزحة العدسة الجذبية نحو الاحمر.

$\Delta\mathbf{T}$ هو التغير في الزمن.

وذلك باستخدام المعادلة (2-10) أدناه

$$\frac{\mathbf{Ds\ DL}}{\mathbf{DLs}}\frac{\mathbf{1+}\boldsymbol{Zl}}{\boldsymbol{c}}\,\Delta\mathrm{T}=\left\{+\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}(\boldsymbol{\theta}-\boldsymbol{B})^{\mathbf{2}}-\boldsymbol{\varphi}[\boldsymbol{\theta}]\right\} \qquad [10\text{-}2]$$



الشكل (3-4) الذي يتبين فيه 1) دالة ΔT مقابل ZL

2) دالة $\frac{1}{\sigma^2}$ مقابل ZL 3) دالة $\frac{\Delta T}{\sigma^2}$ مقابل ZL

1-3 دراسة تغير زاوية التعدس $\acute{\alpha}$ مع تغير كتلة الاجرام الكونية M

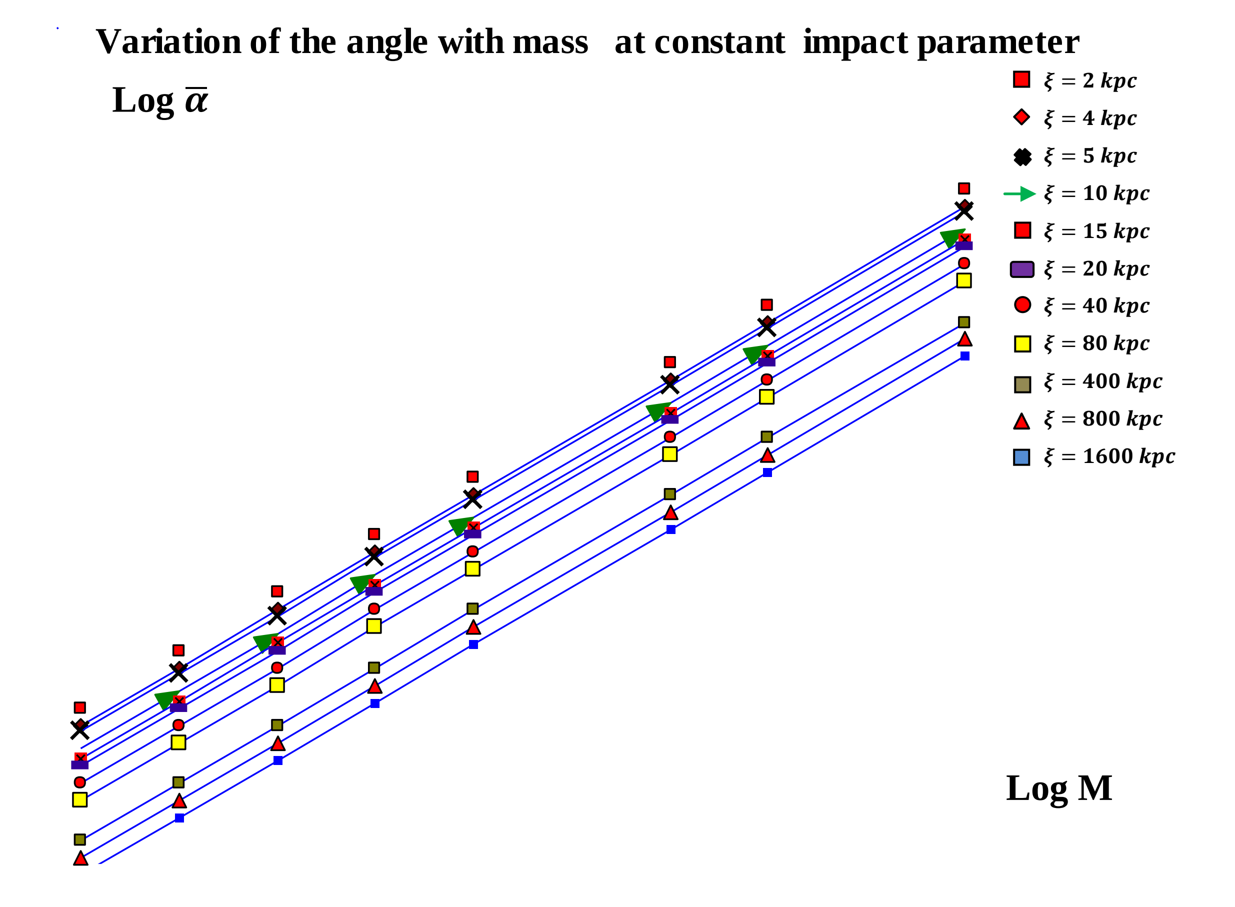
لمعرفة طبيعة تأثر متغيرات التعدس الجذبي ببعضها قمت في هذا الفصل بدراسة تأثير زيادة الكتلة على زاوية التعدس (زاوية التعدس الجذبي) بثبات بعد التـــأثير، فقــد اخـــذت قـــيم افتراضية لـــ M تبدأ بكتلة شمسية واحدة M_0 وتنتهي بـــ $10^9 M_0$ وتبين كيف تتغير ά مع M وبتطبيق المعادلـــة [2.1] وبتكرار هذا التطبيق لعدة قيم لبعد التـأثير ξ تبداب ξ =2kpc ، وتنتهي بـ ξ= kpc1600،مما انتجت القرآت التالية في الجدول (3-1).

الجدول (3-1) يبين تغير زاوية التعدس $\bar{\alpha}$ بتغير بعد التأثير ξ وبتغير كتلة العدسة M

ξ	M	log (M)	log (ά)	ά
$=2kpc=6.168*10^{19}$	$=1.98892*10^{33}M_0$ kg	33.29861	-13.0195	$9.559*10^{-14}$
	$10\ M_0$	34.29861	-12.01958	$9.559*10^{-13}$
	$10^2 M_0$	35.29861	-11.01958	$9.559*10^{-12}$
	$10^3 M_0$	36.29861	-10.01958	$9.559*10^{-11}$
	$10^4 M_0$	37.29861	- 9.01958	$9.559*10^{-10}$
	$10^6 M_0$	39.29861	-7.01958	$9.559*10^{-8}$
	$10^7 M_0$	40.29861	-6.01958	$9.559*10^{-7}$
	$10^9 M_0$	42.29861	-4.01958	$9.559*10^{-5}$
$=4kpc=1.2336*10^{20}$	$=1.98892*10^{33}M_0$ kg	33.29861	-13.320616	* $4.7795*10^{-14}$
	$10\ M_0$	34.29861	-12.32066	$4.7795*10^{-13}$
	$10^2 M_0$	35.29861	-11.32061	$4.7795*10^{-12}$
	$10^3 M_0$	36.29861	-10.3206	$4.7795*10^{-11}$
	$10^4 M_0$	37.29861	-9.32061	$4.7795*10^{-10}$
	$10^6 M_0$	39.29861	-7.32061	$4.7795*10^{-8}$
	$10^7 M_0$	40.29861	-6.32061	$4.7795*10^{-7}$
	$10^9 M_0$	42.29861	-4.32061	$4.7795*10^{-5}$
$=5kpc=1.5428*10^{20}$ meter	$=1.98892*10^{33}M_0$ kg	33.29861	-13.41782	$3.821*10^{-14}$
	$10\ M_0$	34.29861	-12.41782	$3.821*10^{-13}$
	$10^2 M_0$	35.29861	-11.41782	$3.821*10^{-12}$
	$10^3 M_0$	36.29861	-10.41782	$3.821*10^{-11}$
	$10^4 M_0$	37.29861	-9.41782	$3.821*10^{-10}$
	$10^6 M_0$	39.29861	-7.41782	$3.821*10^{-8}$
	$10^7 M_0$	40.29861	-6.41782	$3.821*10^{-7}$
	$10^9 M_0$	42.29861	-4.41782	$3.821*10^{-5}$

ξ	M	log (M)	log (ά)	ά
=10kpc =3.0856*10^{20} meter	=1.98892*10^{33} kgM_0	33.29861	-13.718852	1.9105*10^{-14}
	10 M_0	34.2986	-12.7188529	1.9105*10^{-13}
	10^2M_0	35.29861	-11.7188529	1.9105*10^{-12}
	10^3M_0	36.29861	-10.7188529	1.9105*10^{-11}
	10^4M_0	37.29861	-9.7188529	1.9105*10^{-10}
	10^6M_0	39.29861	-7.7188529	1.9105*10^{-8}
	10^7M_0	40.29861	-6.7188529	1.9105*10^{-7}
	10^9M_0	42.29861	-4.7188529	1.9105*10^{-5}
=15kpc=4.6284*10^{20} meter	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-13.8949442397	1.2736666*10^{-14}
	10 M_0	34.29861	-12.8949442397	1.2736666*10^{-13}
	10^2M_0	35.29861	-11.8949442397	1.2736666*10^{-12}
	10^3M_0	36.29861	-10.8949442397	1.2736666*10^{-11}
	10^4M_0	37.29861	-9.8949442397	1.2736666*10^{-10}
	10^6M_0	39.29861	-7.8949442397	1.2736666*10^{-8}
	10^7M_0	40.29861	-6.8949442397	1.2736666*10^{-7}
	10^9M_0	42.29861	-4.8949442397	1.2736666*10^{-5}
=20kpc=6.1712*10^{20} meter	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-14.0198829	0.95525*10^{-14}
	10 M_0	34.29861	-13.0198829	0.95525*10^{-13}
	10^2M_0	35.29861	-12.0198829	0.95525*10^{-12}
	10^3M_0	36.29861	-11.0198829	0.95525*10^{-11}
	10^4M_0	37.29861	-10.0198829	0.95525*10^{-10}
	10^6M_0	39.29861	-8.0198829	0.95525*10^{-8}
	10^7M_0	40.29861	-7.0198829	0.95525*10^{-7}
	10^9M_0	42.29861	-5.0198829	0.95525*10^{-5}
=40kpc=12.3360*10^{20}	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-14.32061	4.7795*10^{-15}
	10 M_0	34.29861	-13.32061	4.7795*10^{-14}
	10^2M_0	35.29861	-12.32061	4.7795*10^{-13}
	10^3M_0	36.29861	-11.32061	4.7795*10^{-12}
	10^4M_0	37.29861	-10.32061	4.7795*10^{-11}
	10^6M_0	39.29861	-8.32061	4.7795*10^{-9}
	10^7M_0	40.29861	-7.32061	4.7795*10^{-8}
	10^9M_0	42.29861	-5.32061	4.7795*10^{-6}
=80kpc=24.672*10^{20}	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-14.62164	$2.38975*10^{-15}$
	10 M_0	34.29861	-13.62164	$2.38975*10^{-14}$
	10^2M_0	35.29861	-12.62164	$2.38975*10^{-13}$
	10^3M_0	36.29861	-11.62164	$2.38975*10^{-12}$
	10^4M_0	37.29861	-10.62164	$2.38975*10^{-11}$
	10^6M_0 10^7M_0	39.29861 40.29861	-8.62164 -7.62164	$2.38975*10^{-9}$ $2.38975*10^{-8}$
	10^9M_0	42.29861	-5.62164	$2.38975*10^{-6}$
400kpc=12.3360*10^{21}	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-15.320617	4.7795*10^{-16}

ξ	M	log (M)	log (ά)	ά
	10 M_0	34.29861	-14.320617	4.7795*10^{-15}
	10^2M_0	35.29861	-13.320617	4.7795*10^{-14}
	10^3M_0	36.29861	-12.320617	4.7795*10^{-13}
	10^4M_0	37.29861	-11.320617	4.7795*10^{-12}
	10^6M_0	39.29861	-9.320617	4.7795*10^{-10}
	10^7M_0	40.29861	-8.320617	4.7795*10^{-9}
	10^9M_0	42.29861	-6.320617	4.7795*10^{-7}
800kpc=24.672*10^{21}	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-15.621647	$2.38975 * 10^{-16}$
	10 M_0	34.29861	-14.621647	2.38975 *10^{-15}
	10^2M_0	35.29861	-13.621647	2.38975 *10^{-14}
	10^3M_0	36.29861	-12.621647	2.38975 *10^{-13}
	10^4M_0	37.29861	-11.621647	2.38975 *10^{-12}
	10^6M_0	39.29861	-9.621647	2.38975 *10^{-10}
	10^7M_0	40.29861	-8.621647	2.38975 *10^{-9}
	10^9M_0	42.29861	-6.621647	2.38975 *10^{-7}
1600kpc=49.344*10^{21}	M_0 =1.98892*10^{33} kg	33.29861	-15.92267	1.194875* 10^{-16}
	10 M_0	34.29861	-14.92267	1.194875* 10^{-15}
	10^2M_0	35.29861	-13.92267	1.194875* 10^{-14}
	10^3M_0	36.29861	-12.92267	1.194875* 10^{-13}
	10^4M_0	37.29861	-11.92267	1.194875* 10^{-12}
	10^6M_0	39.29861	-9.92267	1.194875* 10^{-10}
	10^7M_0	40.29861	-8.92267	1.194875* 10^{-9}
	10^9M_0	42.29861	-6.92267	1.194875* 10^{-7}



الشكل رقم (3-1) يبين تغير قيمة زاوية الانحناء ά كدالة لكتلة العدسة Mعند قيم مختلفة لبعد التأثير ξ

حيث ان M_0 =كتلة الشمس = 1.98892 * $\mathbf{10^{33}}$ kg

(ثابت الجاذبية العام) $G = 6.67*10^{-11}\ N.m^2.kg$

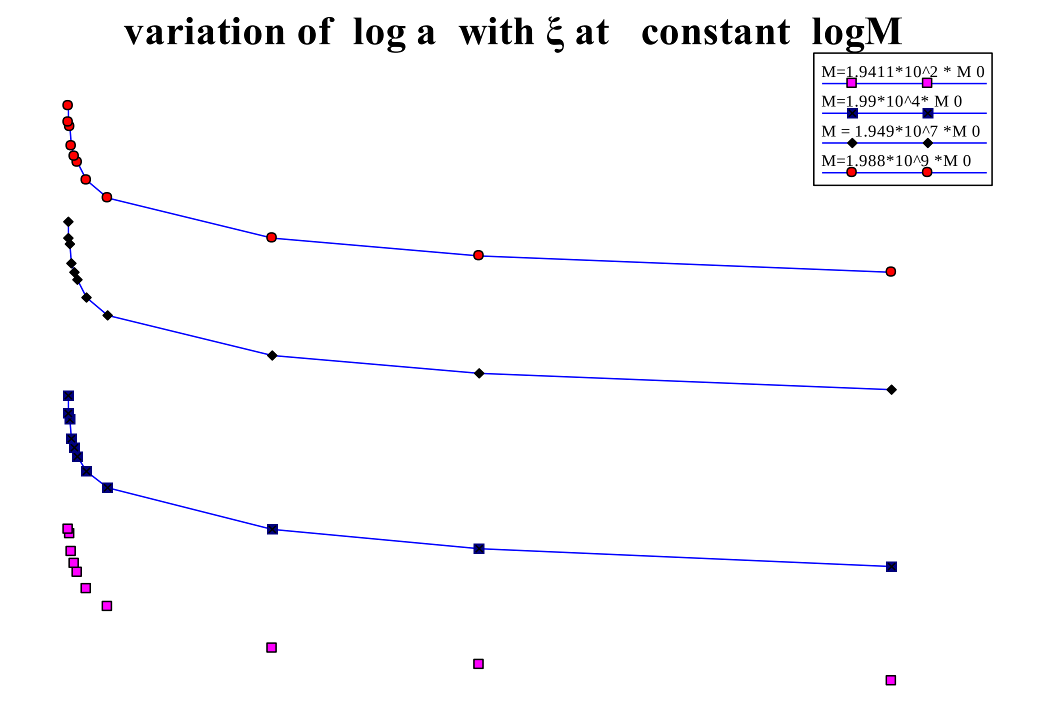
(مربع سرعة الضوء) $C^2 = (3 * 10^8)^2$

ولمعرفة العلاقة بين بعد التأثير ξ وزاوية التعدس ά من الشكل 3- 1 تأخذ قيم منتخبة لــ log M فتتحدد قيم log ά المقابلة لها عند تغير قيم ξ كما في الجدول 3-3 والجدول 3-4 بينما الشكل (3-2) يبين العلاقة بين بعد التأثير ξ وزاوية الانحناء ά .

الجدول (3−2) يبين تغير زاوية التعدس $\acute{\alpha}$ بتغير بعد التأثير

Log ά	ξ	Log M
-14.22	=1600kpc	35.01
-13.93	=800kpc	
-13.65	=400kpc	
-12.95	=80kpc	
-12.64	=40kpc	
-12.35	=20kpc	
-12.19	=15kpc	
-12.00	=10kpc	
-11.69	=5kpc	
-11.62	=4kpc	
-11.31	=2kpc	
-12.26	=1600kpc	37.00
-11.94	=800kpc	
-11.62	=400kpc	
-10.9	=80kpc	
10.61	=40kpc	
-10.37	=20kpc	
-10.20	=15kpc	
-10.04	=10kpc	
-9.73	=5kpc	
-9.63	=4kpc	
-931	=2kpc	

Log ά	ξ	Log M
-9.22	=1600kpc	40.004
-8.93	=800kpc	
-8.62	=400kpc	
-7.92	=80kpc	
-7.61	=40kpc	
-7.32	=20kpc	
-7.19	=15kpc	
-7.04	=10kpc	
-6.69	=5kpc	
-6.59	=4kpc	
-6.31	=2kpc	
-7.19	=1600kpc	42.011
-6.91	=800kpc	
-6.59	=400kpc	
-5.9	=80kpc	
-5.61	=40kpc	
-5.30	=20kpc	
-5.20	=15kpc	
-5.01	=10kpc	
-4.69	=5kpc	
-4.60	=4kpc	
-4.31	=2kpc	



الشكل رقم (3−2) يبين تغير قيمة زاوية الانحناء الجذبيά كدالة لبعد التـــأثير ξ عنـــد قـــيم مختلفة لكتلة العدسة M

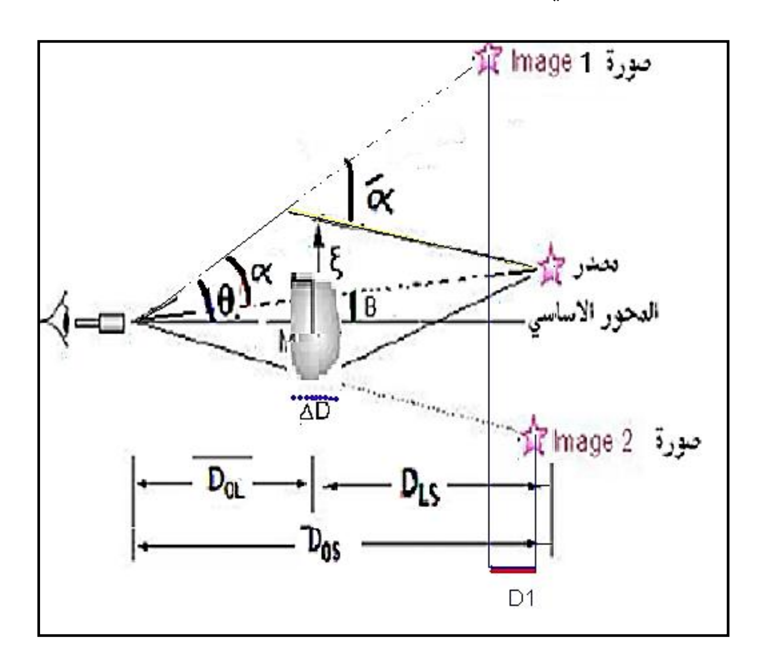
لقد تم رسم العلاقة بين زاوية الانحناء كدالة لكتلة العدسة ولقيم مختلفة لبعد التأثير، بينما تم رسم العلاقة بين زاوية الانحناء ά كدالة لبعد التأثير ولقيم مختلفة من كتلة العدسة، فتبين من الشكل (3-1) أنه بثبات بعد التأثير ξ تزداد زاوية التعدس بزيادة كتلة العدسة وأن هذه الزيادة هي زيادة خطية بينما يشير الشكل (3−2) إلى أن زاوية الانحناء ά تقل بشكل أسي مع بعد التأثير عند ثبات كتلة العدسة إلى أن يصل بعد التأثير إلى 400 kpc بعدها يثبت تقريباً، وذلك لأن بعد التأثير يكون كبيراً بحيث تضعف قوة الجاذبية بشكل كبير في هذه المسافات مما يقلل من تأثيرها على انحناء الضوء.

2-3 حسابات لنتائج ارصادات:

1-2-3 عالي الاشعاع الكوازر (561 + 0957 وواطئ الاشعاع *0305+2237*)

درس كل من (Sotnikova,N. Ya. * and Rodionov S. A.,2006) تخمين هالـــة المادة المعتمة من السُمك النسبي للمجاميع النجمية وفي البحث الحالي، فقد تبين من خلال دراسة النموذج الحلقي لصورة الكوازر 0957+561 عالي الاشـــعاع (The radio-loud quasar) وصورة الكوازر *0305+2237* واطيء الاشعاع (The radio-quite quasar) بان:

سُمك حلقة آينشتاين الكبيرة R مضروباً بـــ $\mathbf{k}_{\mathbf{lens}}$ = فرق المسار $\boldsymbol{D1}$ (وهـــذا الـــذي أيدته المقاربة لنتائج أبحاث سابقة على نفس النماذج الحلقية للكـــوازرين المشـــهورين، أنظـــر المصادر الصفحة (71) حيث ان فرق المسار (المسافة التي يقطعها الضوء من صورة الكوازر الاولى إلى الراصد – المسافة التي يقطعها الضوء من صورة الكوازر الثانية إلى الراصد).



الشكل رقم (3–3) يبين العدسة الجذبية موضحا فيها D1 فرق المسار بين الصـــورة الاولـــى والثانية للمصدر

ليكن فرق المسار =$\mathbf{D1}$ ، التباين في الزحزحة الحمراء بين صورتي الكوازر=ΔZ ،

زمن التاخير=T

فأذا كان $\Delta Z\ T \sim$ ------(1-3)

$D1 \sim T$ ------------------------ (2-3)

إذن $D1 \sim \Delta Z$ ------(3-3)

ولكن $D1 = C\ T\ x$ ------(4-3) (C =light velocity=constant)

إذن $T=\frac{\mathbf{D1}}{\mathbf{C}}$ ------(5-3)

إذن $\frac{\mathbf{D1}}{\mathbf{C}} \sim \Delta Z$ ------(6-3)

فيكون $\Delta Z = \mathbf{H}\ \frac{\mathbf{D1}}{\mathbf{C}}\ x$ ------(7-3)

أو ان $\mathbf{D1}\ x\ \mathbf{H} = \Delta Z\ C$ ------ (8-3)

(*Liddle A. 2003*)

ومن المعادلة (3-8) نجد أن ثابت التناسب H له نفس وحدات ثابت هابل H_0

كما نجد في المعادلة *(3-8)* طرفها الايسر هي عبارة عن ثابت سرعة الضوء مضروباً ب رقم مجرد من الوحدة (مقدار التباين في الزحزحة ΔZ) ولتعريف هذا الطرف فيزيائياً، فإن أنسب تعريف له يكون هو التباين في سرعة ظهور صورتي الكوازر ويعطى الرمز $\Delta V = \Delta Z\ C$.

إن هذا التباين في سرعة ظهور صورتي الكوازر يحاكي التباين في سرعة حركة الاجرام (النجوم والمجرات) المتباعدة، كما ان فرق المسار لصورتي الكوازر يحاكي المسافة بين هذه الاجرام المتباعدة.

وبما ان قانون هابل $V_0= H_0\ d$------(9-3)

حيث ان d هو بعد المجرات عند نقطة ما، V_0 سرعة تباعد المجرات، H_0 هو ثابت هابل

وبالمقارنة مع المعادلة (3-8) نجد انΔV $\equiv V_0$، كما أن $H \equiv H_0$

وبما أن الثابت H له نفس وحدات ثابت هابل سنفترض ان قيمته لها نفس قيمـــة ثابــت

هابل $(H = H_0)$ = 65 كم/ثانية لكل مليون فرسخ فلكي وتعادل 17 كم/ث لكل مليون سنة ضوئية

والمعتمد في الكثير من الدراسات (Schild,R and Vakulik ,v . ,2003) (وحيث ان ثابــت

هابل H_0هو معدل تغير سرعة تمدد الكون مع المسافة، ويظهر قانون هابل أن الكون في تمـــدد

مستمر في جميع الاتجاهات منذ حدوث الانفجار الكبير تتناسب سرعة التمدد مع بعد المجـــرات

عند نقطة ما، وفي البحث الحالي وجد من استقراء القياسات الفلكية للكوازر 561+0957 ، أنه

يتناسب التباين في سرعة ظهور صورتي الكوازر 561+$\Delta\mathbf{v}$ 0957 عبر المسارين طرديا مع

فرق المسار D 1وثابت العلاقة مساويا لثابت هابل =65 .

وبما ان $\Delta\mathbf{v}=\Delta\mathbf{Z}\times C$ و أن قيمة Z1=1.39 وقيمة *Z2=1.41*،هي قيم محسوبة سابقا

لصور الكـــوازر 561+(Schild,R and Vakulik ,v . ,2003) , 0957، $\Delta Z= Z2-Z1$

فإن $\Delta \mathrm{v} = \Delta \mathrm{Z} \times 3 \times 10^8 = 0.02 \times 3 \times 10^8 = 0.06 \times 10^8$

ووجد انه قيم ثابت العدسة Klens هي:

Klens =1/20 , Klens =1/400،Klens 1/160000 and so on

وبالتعويض عن قيم $\Delta \mathrm{v}$ في المعادلة (3-9) يكون

$$65 = \frac{10^8 \times 0.06}{D1} = \frac{10^8 \times 3 \times \Delta Z}{D1} \text{------------} (10\text{-}3)$$

light year 0.0012041 = 9.230769231 =92307.692 $=D1$

إذن سُمك الحلقة R= $D1$ ×20 = light year 0.024082 ،فكانت نتائج الحسابات

الحالية تتطابق بشكل مقبول مع نموذج الحلقة المدروس من قبل

(Rudolph E.etal.,(2008) (Schild, R .and Vakulik, V.,2003)

ففي هذا النموذج نجد أن سُمك الحلقة الكبيرة = $2\ cm \times 10^{16}$= 0.02114 Light Years

وكذلك بالنسبة للكوازر *2237+0305*

أن *Z1=1.659* و *Z2=1.7*

هي قيم محسوبة سابقاً لصور الكوازر *2237+0305*

(Jaroszynski,M.andPaczynski,B. 1995).

ΔZ = Z2-Z1=0.041

X =C Δv ΔZ

$\Delta v = 10^{8} \times 3 \times 0.041$

$\Delta v = 12300000\ m/s$

في المعادلة (3-9) *بالتعويض عن قيمة* Δv *وقيمة ثابت هابل* H_0= 65

$65 = \frac{\Delta v}{D1}$

D1=1230000065

D1=0.000033406 Ly

إذن سمك الحلقة *R=ly 0.000033406 ×400=ly 0.013362*

وفي نموذج الحلقة المدروس من قبل:

(Jaroszynski,M.andPaczynski,B. 1995).

نجد أن سُمك الحلقة= *0.01585 Light Years*

إذن نتائج الحسابات الحالية تتطابق بشكل مقبول مع نموذج الحلقة المدروس

3-2-2 حساب ثابت هابل :

تخمين قيمة ثابت هابل (في البحث الحالي من صور الكوازر0957+561)

D1 $\Delta v = H_{0\times} \leftarrow\leftarrow V_0 = H_0$ d------(1-3)

(حيث ان Δv هو التباين في سرعة ظهور صورتي الكوازر0957+561)

وبما أن $D1 = T*C$

وأن $C\times\Delta Z=\Delta v$

فيكون $\Delta Z*C = H_o *T*C$

$\Delta Z=H_o*T$

$H_o=\frac{T}{\Delta Z}$.

وبتطبيق قيمة زمن التأخير المحسوبة سابقا لل 0957+561 the double quasar

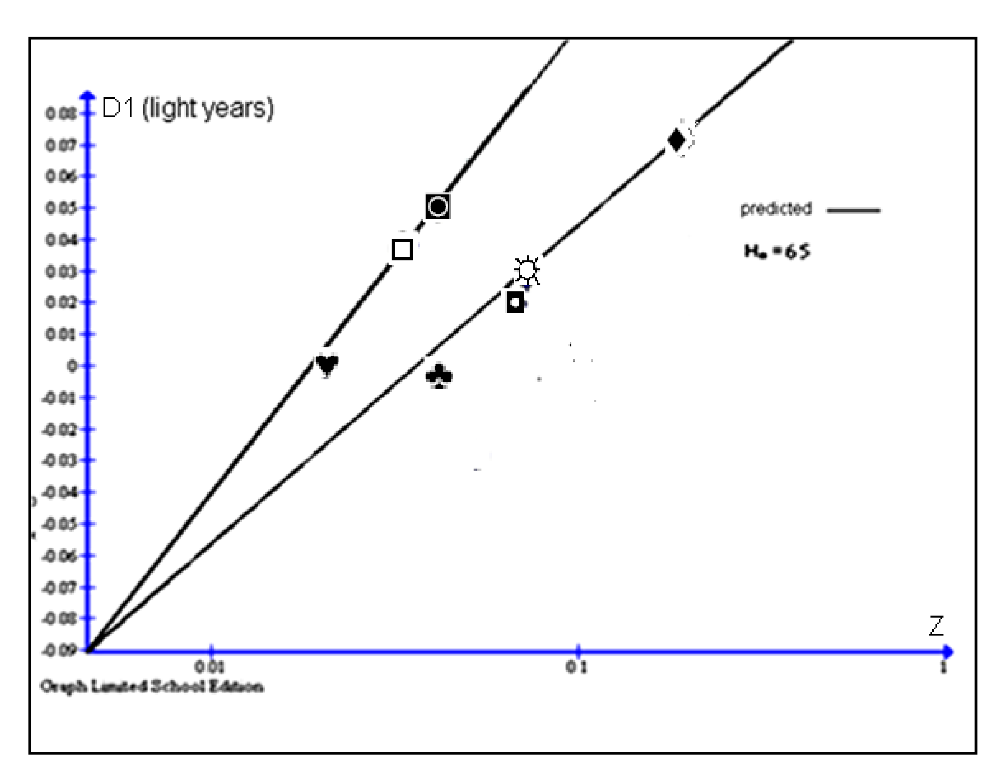
$T= 1.45 \pm 0.04$ (Christopher S. Kochanek, 2008)

ثابت هابل تكون قيمته $H_o=\frac{1.45\pm0.04}{0.02}$ = (74.5 «70.5)

وهذه القيمة مقبولة لمقاربتها لحسابات (saha etal ,2006)

3-3 المسطرة الكونية وتخمين سمك المادة المعتمة

من الحسابات الحالية في 3−2 يكون بالإمكان تعميم القول انه يتناسب مقدار التغير في الزحزحة الحمراء لمكونات الكون الرصود طرديا مع فرق المسار(فرق المسار= المسار بوجود العدسة − المسار بعدم وجودها) المساوي، ويمكن رسم العلاقة الخطية بين D1 و Z. انظر إلى الشكل البياني رقم (3−4)



Observed points

♥ (Rudolph Schild1and Viktor Vakulik2,2003)

◘ (Halton Arp,1966)

◙ (Vestergaard, M., 2002)

♦ (Jianfeng Wu etal,2011)

☼ (Bergeron J.etal ,1983)

□ (Casey ,C. M. etal ,2008)

♣ (Jaroszynski,M.andPaczynski,B. 1995)

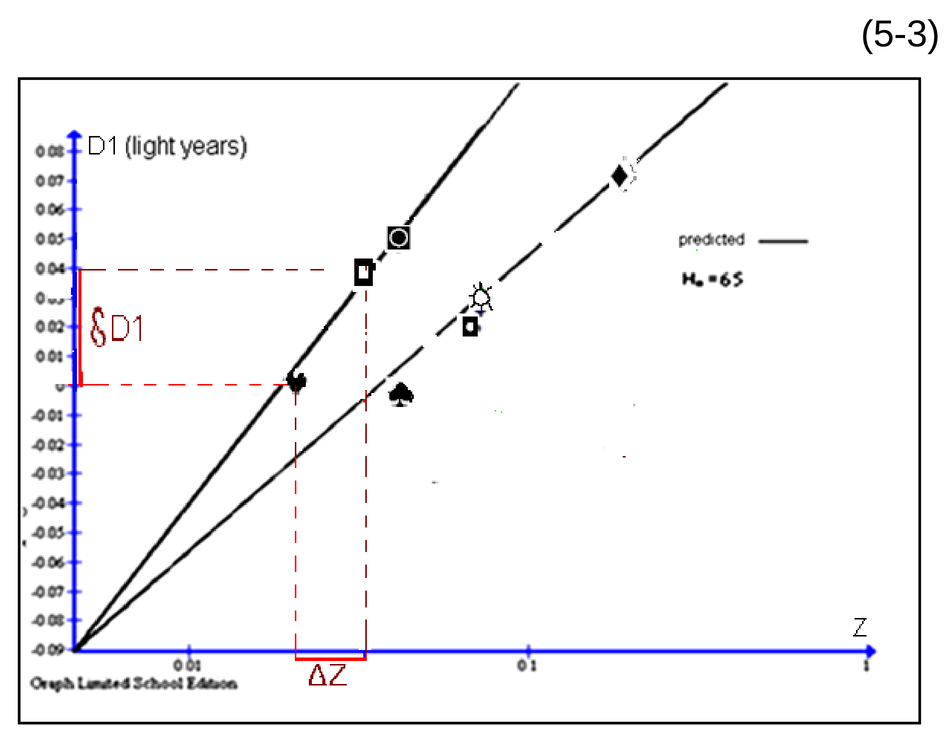
الشكل رقم (3-4) يبين فرق المسار مع الزحزحة الحمراء عند قيمة ثابت هابل $H_0=65$

وهذا التعميم معتمداً على أن المادة المعتمة في الكون تمثل عدسة جذبية، وهي لا يفترض بها ان تكون متساوية الكثافة وهذا ما أثبتته الكثير من الابحاث السابقة، وبهذا تكون ظاهرة التعدس الجذبي ذات اهمية كبيرة، إذ يمكن بواسطتها تحديد عمر الكون وحجمه وتوزيع المادة فيه (المادة المعتمة)، ففي حالة التعدس الجذبي الدقيق يحدث التذبذب في شدة الاشعة الكهرومغناطيسية الواصلة إلى الراصد الارضي ومن خلال التعدس الجذبي الضعيف، يمكن

دراسة خريطة الكون، ومن خلال التعدس الجذبي القوي أمكن تخمين قيمة ثابت هابل ومقـــدار التأخر في زمن وصول الاشعة الصادرة عن المصدر المارة بالعدسة الجذبيـــة إلـــى الراصـــد الارضي.

ومن الدراسة الحالية في الفصل الثالث يمكن حساب ∂ D1 المساوية لعـــرض المـــادة المعتمةمن خلال رسم شكل بقيم Z وقيم $D1$ المأخوذة من حسابات باحثين آخرين سابقين، فعند ذلك يمكن معرفة ∂ D1 (التباين في فرق المسار بين جرمين) المساوي لعرض المادة المعتمة بينهما، انظر الرسم البياني

(5-3)



الشكل (3-5) هي علاقة دالة التغير في D1مقابل Z

فيمكن اعتماد الشكل (3-5) في حساب عرض المادة المعتمة $\partial D1$ بين جميع منـــاطق الكون المرصود بمعرفة الزحزحة الحمراء للجرم وحسب الحسابات الحالية، ترى ان سمك المادة المعتمة $\partial D1$ (بين الكوازر 561 +0957 و4631A+B c1643 p)

$$\partial D1 \quad = 0.049 \text{ light year}$$

فأمكن حساب عرض المادة المعتمة بين هذه الاجرام المختلفة والمتباعدة عـــن بعضـــها كثيـــراً وبالتالي إذا استمر البحث عن كوازرات وأجرام جديدة، فبالإمكان تحديد شكل وبنية عامة للكون من زاوية رصدنا الارضي.

الجدول (3-3) يوضح معلومات طرفي المسطرة الكونية(الحسابات الحالية *)

Cosmological ruler توضيح معلومات المسطرة الكونية					
الباحثون	سمك الحلقة المرصود	سمك الحلقة الحسابات الحالية*	فرق المسار $*D1$	قيمة التغير في الزحزحة $Z\Delta$	المصدر
Schild,R.,and Vakulik,V.,(2003)	0.02114 light year	$D1 * 20 = 0.024082$	0.0012041	0.02	Q 0957+561
Jaroszynski,M.& Paczynski,B.,(1995)	0.01585 light year	$D1 * 20 * 20 = 0.013362$	0.000033406	0.041	Q 2237-305

الجدول (3-4) يوضح قيم الزحزحة لمصادر وقيم فرق المسار لارصادات باحثين

الباحثون	D1 *	قيمة زحزحة المصدر * Zs	المصدر Quasar or Cluster of gallaxcies
(Casey C. M. etal ,2008)	0.05055 Light year	0.041	The quasar pair (pc 1643 4631A+B
(Halton Arp,1966)	0.0264 Light year	0.071	galaxy MK 205
(Vestergaard,M. , 2002)	0.039 Light year	0.035	PG 0921+535 Mrk110
(Bergeron J.etal ,1983)	Light 0.02 year	0.068	RQQMR 2251-178
(Jianfeng Wu etal,2011)	0.074 Light year	0.192	Quasar PHL 1811,

* الارصادات

4-1 الاستنتاجات والتوصيات:

حالما تتوفر معلومات عن نماذج حلقية جديدة يمكن أعتمادها كمقـاييس ايضـاً، فمـن المسوح المستمرة للقبة الفلكية وبأيجاد كوازرات جديدة ومعرفة قيمة انحناء طيفها، يمكننا تحديد شكل وابعاد المادة المعتمة في الكون، ومن الحسابات والنتائج الحالية في الفصل الثالث يمكننـا الاستنتاج بانه اصبح ممكنا عمل مسطرة كونية (مسطرتنا المنتقاة الذي طرفها الاول معلومـات الكوازر عالي البث الكهرومغناطيسي 0957 والطرف الثاني الكوازر 2237 واطـىء البـث) نقيس من خلالها المسافات الكونية للمادة المعتمة على فرض أن العدسات الجذبية أساسـا غيـر متناظرة وتكون جزءاً كبيراً منها المادة المعتمة ولذلك أوصي باستمرار محاولات الكشف عـن كوازرات جديدة وحالات تعدس جديدة ومن حصولنا على الزحزحة للكوازر يكـون بالإمكـان حساب عرض المادة المعتمة التي تفصلنا عنه وباستخدام المعلومات المستحصلة من الكوازرات الجديدة بالامكان عمل مساطر جديدة والحقيقة انه بعد ذلك يصبح في الامكان مقارنة المسـافات الكونية المستحصل عليهامن الطرق السابقة مع المسافات الكونية المستحصل عليها من التعـدس الجذبي ومساطره الكونية.

كما انه كلما زادت مساحة الرصد أمكن الحصول على قيم جديدة لزحزحـة الاجـرام تستخدم معها المسطرة الحالية الكونية لتحديد أدق لقيمة ثابت هابل .

الملاحظات:

(1) هذا التباين في حساب قيم ثابت هابل يمكن عدّه دلالة على التباين في سرعة التمدد الكوني في المراحل الزمنية المختلفة أنظر إلى المصادر (Abell. G. O,1993) و (Takahiro T etal,1995) .

(2) أن عد قيمة ∂D1= عرض المادة المعتمة، أتى من كون المادة المعتمة يتخللها الكون وهي مختلفة الكثافة وهي مع المادة المرصودة تكون منظومة تعدس جذبي كبير غير متناظر.

References المصـــادر

Abell, G. O., D. Morrison, S. Wolf C., Exploration of the Universe, Sixth Edition, 1993, Saunders

Acosta., (2001)” PHY3101 Modern Physics Lecture Notes” ApJ 529, 88

Anguita T., (2009) "A combined observational and Theoretical study of gravitationally Lensed quasars", Thesis Submitted for Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg.

Asada H., (2009), "Five point mass Gravitational lenses in a Rhombus as a Soluble Model Giving the maximum Number of images", prog. theor. phys. 121, 1381

Aubourg, E. etal., (1993) "Evidence for gravitational microlensing by dark objects in the Galactic halo ", Nature, 365, 623

Bak, J. & Statler, T., (2000), "The Intrinsic Shape Distribution of a Sample of Elliptical Galaxies", AJ 120, 110–122.

Barkana, R., (1997), "Analysis of Time Delays in the Gravitational Lens PG 1115+080", ApJ 489, 21.

Bartel, Ed., Frittelli, S., Newman, E, (1985);., \An Exact Gravitational Lensing equation" Levreault, *Astrophys. J. Lett*. 294, 17

Bartelmann, M, and Schneider, P., (2001), "Weak gravitational lensing"phys. Rept., 340, 291

Beaulieu J, (2006), ” Discovery of a cool planet of 5. 5 Earth masses through gravitational microlensing”, *Nature* 439, 437-440.

Bergeron, J., Dennefeld, M., Boksenberg, A., & Tarenghi, M. (1983), “A nearby QSO embedded in a giant H II envelope”, Royal Astronomical Society, Monthly Notices, 202, 125-143

Blandford, R. Narayan, R., (*1992*) “Cosmological Applications of Gravitational Lensing”, *Annu. Rev. Astron. Astrophys. . 30: 3158*

Brecher, K., (1982), "Newton, Einstein, and gravity", in Revealing the universe, :Prediction and Proof In Astronomy, 17, MIT, press Cambridge

Bunker, C., andIgnace, R., (2008), "Microlensing of Dusty Stelar Envelopes by point mass lens"jornal of Southeastern Association for Research in Astronomy, 2, 6-9

Burud, I., (2000), "An Optical Time Delay Estimate for the Double Gravitational Lens System B1600+434", ApJ 544, 117–122

Casey, C. Impey, M. Petry[1], A., (2008)" _ Quasar absorption and emission-line system" *The Astronomical Journal* 136 181

Chang, K. & Refsdal, S., (1979), "Flux variations of QSO 0957+561 A, B and image splitting by stars near the light path", Nature 282, 561–564

Charles R. Keeton (2001) "Cold Dark Matter and Strong Gravitational Lensing " *ApJ* 561, 46

Chartas, G. Bautz' M. Garmire, G. Jones' C. and Schneider, D. P. " (2001 *Chadra* Observations of the Gravitationally Lensed System 2016 +112", APJ, 550, 163.

Chen, D., (2004), "Flux-limted stronge gravitational lensing and dark energy "Astron Astrophys, 418, 387-392

Christopher S. Kochanek, (2008) "The Hubble Constant from gravita " tional lens time delay, Carnegie Observatories Astrophysics Series, Vol. 2 (Cambridge: Cambridge Univ. Press)

Claeskens, J. -F., Sluse, D., Riaud, P., & Surdej, J. (2006)" Multi wavelength study of the gravitational Lens model and source reconstruction", A&A, 451, 865

Claeskens, J-F., Surdei, J., and Remy, M., (1996), " a new multiply imaged QSO candidate", A&A, 305, 9.

Clifford, M. Will., (April 2011) "Theory and Experiment in Gravitational Physics” Washington University, St Louis, 13-66

Courbin F., (2003), "Quasar lensing :the Observers point of view"Gravitational lensing :a unque tool for cosmology, ASP Conference Series, Belgium

Eddington A., (1987) “Space, Time & Gravitation”, Cambridge Univ. Press 50-109

Erik, L., (2008), "Focussing on Weak Gravitational Lensing", ITF, Utrecht University, Netherlands, Dark Matter in Astrophysics. 58: 99-123

Fahlman G., (1994) “Dark matter in MS 1224 from distortion of back-ground galaxies”, ApJ 437, 56–62

Fischer P., Bernstein G., Rhee G., Tyson J. A., (1997), “The Mass Distribution of the Cluster 0957+561 From Gravitational Lensing“, *Astron. J.* 113, 521

Frieman, J. A., (1996), "Weak lensing and measurement ofq_0 From type Ia Supernovae ", Com, Ap., 18, 323

Frittelli, S., Newman, E., (1998) “An Exact Gravitational Lensing equation" General Lensing,, *Astrophys. J. Lett*. 294, 17

Gavazzi, R., Treu, T., and Gerhard, O., etal, (2001), "Dynamical Family Properties and Dark Halo Scaling Relations of Giant Elliptical Galaxies", *Mark Swinbank, Institute for Computational Cosmology, University of Durham* p 1936–1951

Gorenstein, M., Shapiro, I. & Falco, E. etal, (1988), "Degeneracies in gravitational lens parameter estimates for models of systems", 327, 693–711.

Grossman, S. A. and Narayan, R., (1989), "Gravitationally lensed images in Abell 370", apj, 344, 637

Halton, A., (1966). "ATLAS OF PECULIAR GALAXIES"http://lempel. pagespersoorange. fr/les_os_du_redshift_02_u. htm http://www. phys. unsw. edu. au/einsteinlight sets)(Internet

Hewitt, J. N., Burke, B. F., Turner, E. L., Schneider, D. P., Lawernce, C. R., and Langeston, G. L., Brody, J. P., (1989), ”Gravitational Lenses(Lecture Notes in physics), Berlin:Springer330, 147

Holder G. P. & Schechter P. L. (2003) "External Shear in Quadruply Imaged Lens Systems", *ApJ*, 589 688

Huchra, J., Gorenstein, M., Kent, S., et al. 1985, ” Quasar Lensing: the Observer's Point of View” *Astron. J.* 90 691

Irwin, M. J., Webster, R. L., Hewett, P. C., Corrigan, R. T., Jedrzejewski, R. I. (1989), ” Cosmological Applications of Gravitational Lensing” AJ, 98, 1989

Jaroszynski, M. andPaczynski, B. (1995)”Diffraction effects in Microlensing of Q2237+0305”, Astrophysical Journal, 455, 443.

Jianfeng Wu et al. “A Population of X-Ray Weak Quasars: PHL 1811 Analogs at High Redshift”. (2011) ApJ 736 28. . .

Kaiser, N., etal (1995) ‘AMethod forWeak Lensing Observations’, ApJ 449, 460.

Kayser, N., and Squire G., (1993)., "Mapping the dark matter with weak gravitational lensing ", APJ, 404, 441

Kneib, J. P., M ellier, Y., Fort, B., Mathez, G, (1993), "The distribution of Dark matter in Distant Cluster Lenses-Modelling ", A&A, 273, 367

Koo, D. C., (1987), "Large scale motions in the universe “Prinston University Press, 513, 253

Liddle A., 2003, “An Introduction to Modern Cosmology” (second Edtion), Uniersity of Sussex, UK, P. 9.

Lubbe C. Antonio, J, (2011), “The extended Conformal Einstein field equations” School of Mathematical Sciences, Queen Mary, University of London, United Kingdom. arXiv:1102. 2399

Magain, P. Hutsemékers, D. Surdej, J. and Van Drom, E., (1992), “ Search for gravitational lensing in a sample of highly luminous quasars”, 406, 88-96.

Malow, D. R. ;Rusin, D., Norbury, M., Jackson, N., Browne, I. W. A., Wilkinson, P. N., Fassnacht, C. D., Myers, S. T., Koopmans, L. V. E., Blandford, R. D., Pearson, T. J., Readhead, A. C. S., and Debruyn, A. G., (2001), ”Class B0739+366: A new two-image Gravitational lens System”, AJ, 121, 619

Mcclelland T., (2008), "A REVIEW OF THE HISTORY, THEORY AND OBSERVATIONS OF GRAVITATIONAL MICROLENSING UP UNTIL THE PRESENT DAY", MSC thesis for the degree of master, university of Canterbury

Mosquera, A. Muñoz J, . and Mediavilla E., (2009), ” DETECTION OF CHROMATIC MICROLENSING IN Q 2237 + 0305 A “Valencia, Spain, The Astrophysical Journal, 691, 1292.

Mukherjee, K., (2005), "Null geodesic deviation equation and models of gravitational lensing", ph. D, University of Pittsburgh

Myers, S. T., (1999), "Scaling the universe :Gravitational lenses and Hubble constant ", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 96, 4236-4239

Narayan A., Bartellmann, M., (1995), “Lectures on gravitional lensing”, Germany, Astrophysik, annual reprt 1523, 85740.

Nelemans Gijs, (2001)” White dwarfs, black holes and neutron stars in close binaries” PhD thesis, University of Amsterdam.

Newberg, H., Couch, W., (1999), “Supernova Cosmology Object”, astrophys, J. 517, 565.

Ogri, M., Inada, N., Hennawi, J. F., Richards, G. T., Johnston, D. E., Friemam, J. A., Pindor, andYork, D. G., (2004), ”Discovery or two Gravitationally lensed Quasars with image Separations of 3 Arcseconds from the Sloan Digital Sky Survey “, ApJ, 622, 106-115.

Paczynski, B., (1996), " Gravitational microlensing in the local group ", lin press in Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol, 34. 419, 459

Paraficz, D., (2010)"Cosmological Applications of STRONG GRAVITATIONAL LENSING", Thesis Submitted for the Degree PHILOSOPHIÆ DOCTOR, Dark Cosmology Centre, Niels Bohr Institute

Petters, A. O., Levine, H., Wambsganss, J., (2001), “Singularity Theory and Gravitational References”, internal report, Cambridge University Press

Robert, W. Schmidt., (2000) "Cosmological applications of gravitational lensing, PHD thesis, Potsdam University.

Roger J. Anderton, 2009, ” Einstein and (Michelson-Morley experiment)”, the general science Journal http://www. wbabin. net/science/anderton45. pdf

Rudolph E. etal., (2008)” DIRECT Microlensing-reverberation observation of the intrinsic magnatic structure of active galactic nuclei in different spectral states:a tale of two quasars” The Astronomical Journal 135, 947.,

Rudolph, S. Vakulik, V., (2003)”Microlensing of a ring model for quasar structure “, the astronomical Journal, 126: 689-695

Schneider, P., (1995), "Cosmological Applications of Gravitational Lensing", Astrophysics, Astrophys, 302, 639.

Sereno, M. (2008), " The Gravitational Lens Equation", PHD Thesis, Napoli university

Spergel, D. N., Bean, R., Doré, O&Wright, E. L. (2007), 'Three-YearWilkinson Microwave Anisotropy Probe WMAP) Observations: Implications for Cosmology', ApJS 170, 377–408.

Springer-Verlag, Berlin, Boston

Sullivan, D. J., Korpela, A. and Chote, P., (2008), "The Wellington microlensing modelling program", The Manchester Microlensing Conference:The 12thInternational Conference

Takahiro T. Nakamur A and Yasushi S (*1995), "* Probability distribution of the Hubble constant and the age of the universe infreed from local observations" Department of Physics, University of Tokyo, internal report.

Tucker, D., Hashimoto, Y., Kirshner, R., & Shectman, S. (1997) "Groups of Galaxies in the Las Campanas Redshift Survey" Potsdam Cosmology Workshop

Tyson, JA., Wenk, R. A., and Valdes, F., (1990), "detection of systematic gravitational lens galaxy image alignments-Maping dark matter in galaxy clusters ", APJ349, 1

Udalski, A., (1993), "The optical gravitational lensing experiment. Discovery of the first candidate microlensing event in the direction of the Galactic Bulge", Acta Astron., 43, 289-294

Vestergaard, M., (2002)" Determining Central black hole masses in distant active galaxies", Department of Astronomy, Ohio State University, internal report

Waerbeke. L. V., and Mellier, Y., (1996), " Probing the Universe with Weak Lensing", Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Institut of Astrophysics, Paris, . 37, 127-189

Walsh D., Carswell R. F., Weymann R. J., (1979), “0957+561 A, B: twin quasistellar objects or gravitational lens?”, *Nature* 279, 381

Wambsganss, J. (1997), "effects of weak gravitational lensing from large – scale structure on determination of q_0 " the APJ 475, 81-84

Wambsganss, J., (2001), "Gravitational lensing in Astronomy", Max-Plank-Gesells chaft. ISSN, Potsdam, Germany, 1433-8351,

Weymann, R. J., Latham, D., Roger, J. (1980), ”Observationsof Q0957+ 561A, B” Nature, 285, 641.